

WYŻSZA SZKOŁA INŻYNIERSKA
im. JANA I JĘDRZEJA ŚNIADECKICH
w Bydgoszczy



ZESZYTY NAUKOWE
Nr 3
MECHANIKA
PRZETWÓRSTWO I STOSOWANIE
TWORZYW SZTUCZNYCH

ZESZYT 2

BYDGOSZCZ 1972

W Y Ź S Z A S Z K O Ł A I N Ź Y N I E R S K A
im. JANA I JĘDRZEJA ŚNIADECKICH
w Bydgoszczy

ROBERT SIKORA

BADANIA NAD WPROWADZENIEM
NIEKTÓRYCH TWORZYW EPOKSYDOWYCH
DO NAPRAWY MASZYN



BYDGOSZCZ 1972

Wydano za zgodą Rektora J. M. Wyższej Szkoły
Inżynierskiej w Bydgoszczy

10

SPIS TREŚCI

	Strona
Wprowadzenie i cel pracy	3
Rozdział 1. Charakterystyka i możliwości wykorzystania tworzyw epoksydowych w naprawie maszyn	7
1.1. Ogólny stan i kierunki wykorzystania tworzyw sztucznych w naprawie maszyn	7
1.2. Zarys rozwojowy i perspektywy wykorzystania two- rzyw epoksydowych w naprawie maszyn	10
1.3. Syntetyczne ujęcie zagadnienia wykorzystania two- rzyw epoksydowych w naprawie maszyn	14
1.4. Ogólna charakterystyka tworzyw epoksydowych.....	18
1.5. Wnioski i uwagi	22
Rozdział 2. Badania laboratoryjne	24
2.1. Wstęp	24
2.2. Przegląd znanych metod badań oddzierania	25
2.3. Metodyka i warunki badań	34
2.4. Istota złącza: tworzywo epoksydowe - materiał kla- syczny	38
2.5. Badania procesu oddzierania obwodowego	41
2.5.1. Badania rozpoznawcze	41
2.5.2. Uwagi o istocie i mechanizmie procesu od- dzierania obwodowego	49
2.6. Optymalizacja procesu oddzierania obwodowego	54
2.6.1. Wpływ rodzaju tworzywa epoksydowego	55
2.6.2. Wpływ rodzaju tkaniny i maty	59
2.6.3. Wpływ sposobu dociskania i przesycaenia tkani- ny	61
2.6.4. Wpływ liczby warstw tkaniny w nakładce	64
2.6.5. Wpływ dokładności dozowania żywicy i utwar- dzacza	67
2.7. Mechanizm niszczenia próbek w procesie oddziera- nia obwodowego	70
2.8. Wnioski i uwagi	75
Rozdział 3. Badania eksploatacyjne	78
3.1. Wstęp	78
3.2. Metodyka i warunki badań	78

3. 3. Rozwiązania technologiczno-konstrukcyjne w procesie naprawy przy wykorzystaniu tworzyw epoksydowych ..	80
3. 3. 1. Zasady naprawy elementów maszyn z rozdzielaniem materiału	81
3. 3. 2. Zasady naprawy elementów maszyn z ubytkami materiału	85
3. 4. Ogólny proces technologiczny naprawy przy wykorzystaniu tworzyw epoksydowych	91
3. 5. Wyniki badań eksploatacyjnych	97
3. 6. Wnioski i uwagi	107
Podstawy do oceny i porównywania wykorzystania tworzyw epoksydowych w naprawie maszyn	109
Wnioski końcowe i zakończenie	116
L i t e r a t u r a	119

WPROWADZENIE I CEL PRACY

Zużycie fizyczne maszyn jak i ich elementów może być ciągłe/naturalne, normalne, stopniowe, postępowe/ występujące w czasie eksploatacji głównie na skutek tarcia współpracujących materiałów, działania obciążeń, działania czynników chemicznych i cieplnych oraz innych przyczyn, jak również może być zużycie awaryjne /nagłe/, zwane też uszkodzeniem, przebiegające nieoczekiwanie w sposób gwałtowny na ogół na skutek nagłej koncentracji naprężeń powodujących dekohezję.

Przez użycie ciągłe rozumie się trwałe niepożądane zmiany stanu maszyny lub jej elementów, zachodzące w czasie eksploatacji w sposób ciągły, w wyniku czego zdolność spełniania przez maszynę lub jej elementy określonej funkcji użytkowej stopniowo wyczerpuje się. Natomiast przez zużycie awaryjne /uszkodzenie/ rozumie się trwałe niepożądane zmiany stanu maszyny lub jej elementów, zachodzące w czasie eksploatacji w sposób nagły, często losowy, w wyniku czego maszyna lub jej elementy tracą zdolność spełniania określonej funkcji użytkowej.

Nieuchronność występowania zużycia ciągłego, zwanego dalej krótko zużyciem, jest oczywista, bowiem czynników powodujących je nie da się w czasie eksploatacji uniknąć, a można i należy tylko różnymi sposobami zmniejszać skutki ich działania. Ale również nieuchronne jest zjawisko występowania zużycia awaryjnego, zwanego dalej krótko uszkodzeniem, nawet w poprawnie skonstruowanych i wykonanych jak też eksploatowanych maszynach, gdyż jest ono nie tylko spowodowane błędami, ale również niedoskonałością narzędzi pracy konstruktorów, technologów i eksploatatorów oraz przeciążeniami o charakterze losowym.

Konieczność utrzymania maszyn we właściwej sprawności technicznej, przy określonej zwykle wysokiej niezawodności z jednej strony, a nieuchronność występowania zużycia fizycznego, którego intensywność jest rozmaita w normalnych warunkach eksploatacji elementów nawet tych samych maszyn z drugiej strony, stwarzają potrzebę przeprowadzania naprawy /remontu/ maszyn. Na przeprowadzanie naprawy, zwanej też odnową, wpływa również, mające charakter ciągły, zużycie ekonomiczne /moralne/ zarówno rzeczywiste jak i sztuczne.

Naprawa maszyn może być przeprowadzana planowo lub pozaplanowo. W pierwszym przypadku naprawa jest skutkiem przede wszystkim zużycia, tzn. w planowaniu naprawy uwzględnia się głównie zużycie, nie biorąc pod uwagę uszkodzenia, chociaż uwzględnianie go w niektórych elementach jest możliwe. W praktyce występują tu tzw. remonty planowo-zapobiegawcze. W drugim przypadku naprawa jest skutkiem przede wszystkim uszkodzenia, jak dotychczas w praktyce nie podlegała planowaniu i określana jest mianem naprawy awaryjnej.

Naprawa maszyn przeprowadzana jest w różnych przedsiębiorstwach i jednostkach o bardzo dużym zróżnicowaniu poziomu technicznego i organizacyjnego. Przeprowadzana jest też przez użytkowników indywidualnych. Pozostaje to w ścisłym związku z brakiem zadawalającego sprecyzowania wielu istotnych elementów gospodarki remontowej, np. podstawowych pojęć, metod badań, istoty systemów i metod naprawy.

Można stwierdzić, że są dwa zasadnicze systemy wykonywania prac naprawczych.

- 1/ System naprawy kompleksowej, w którym wszystkie lub zdecydowana większość prac naprawczych przeprowadzane są przez jedną jednostkę, np. zakład, warsztat. Według tego systemu wykonywana jest w Polsce większość napraw maszyn.
- 2/ System naprawy przez wymianę zużytych zespołów maszyn, w którym naprawę zespołów wykonuje się w wyspecjalizowanych zakładach. Wymiana poszczególnych zespołów może nastąpić po rozmaitych okresach eksploatacji.

Jak wynika z posiadanego rozeznania, naprawa maszyn jest obecnie w kraju bardzo kosztowna. Obiekty budowlane i maszyny na ogół nie są niestety całkowicie i racjonalnie wykorzystane. W niektórych dziedzinach na naprawę maszyn wydaje się więcej środków niż na produkcję nowych wyrobów. Dzieje się to na skutek m.in. z zasady niższego stopnia koncentracji i zorganizowania w przemyśle naprawczym niż w przemyśle wytwarzającym nowe wyroby /przemyśle wytwórczym/. Poza tym w zakresie naprawy prowadziło się jak dotąd mało właściwie koordynowanych prac naukowych i wdrożeniowych, bowiem naprawa traktowana była i jest jeszcze niekiedy niesłusznie jako działalność drugoplanowa - co nie sprzyja rozwojowi postępu naukowo-technicznego i ekonomicznego w przemyśle naprawczym.

Można zauważyć łatwą do uzasadnienia prawidłowość, że wraz z rozwojem gospodarczym kraju następuje najpierw rozwój ilościowy gospodarki remontowej, a następnie jej ograniczanie, zwłaszcza w zakresie naprawy całych maszyn, co ma ścisły związek ze zwiększeniem niezawodności i trwałości maszyn oraz ze wzrostem roli zużycia ekonomicznego. Rozwija się jednocześnie zaplecze obsługowe /przebiegowo-diagnostyczno-konserwacyjne/. Widać to wyraźnie na przykła-

dach krajów gospodarczo wysoko rozwiniętych, w których ograniczono naprawę do minimum, stwarzając tym samym możliwości zwiększenia wysiłków w sferze produkcji nowych wyrobów i ich obsługi technicznej. Tendencje te można zauważyć już i w Polsce w takich grupach wyrobów jak obuwie lub dziewiarstwo. Nieuniknione i słuszne ograniczenie naprawy maszyn, występujące z rozwojem gospodarczym, powoduje zmiany w systemach i metodach przeprowadzania prac naprawczych. Przede wszystkim następuje zaniechanie naprawy całych maszyn i przejście na naprawę maszyn przez wymianę zużytych zespołów.

Jeżeli chodzi o tworzywa epoksydowe w naprawie maszyn, to obserwuje się ciągły wzrost ich wykorzystania, niezależnie od stopnia rozwoju gospodarki remontowej. Wynika to przede wszystkim z powstawania nowych, nieznanych przedtem możliwości naprawczych. Chodzi głównie o to, że wykorzystanie tworzyw epoksydowych umożliwia przeprowadzanie naprawy zarówno w zakładach naprawczych, jak i przez użytkownika maszyn w warunkach polowych, morskich, poligonu wojskowego itp. Obecnie w krajach gospodarczo wysoko rozwiniętych tworzywa epoksydowe stosuje się w dużym stopniu w formie tzw. zestawów naprawczych, używanych głównie w systemie szybkiej pozaplanowej naprawy kompleksowej w różnych układach organizacyjnych. Zestaw naprawczy zawiera niezbędne narzędzia i materiały potrzebne do wykonania naprawy, umieszczone w przenośnej, podręcznej skrzynce /walizce/. Z zestawów zagranicznych, w których wykorzystuje się tworzywa epoksydowe, wymienić można na przykład zestaw radziecki [75], amerykański o nazwie "Armstrong" [73], stosowany w NRF o nazwie "Metallit-Plastik-Stahl" [72] oraz zestawy stosowane w Luksemburgu, Holandii, Belgii, NRF, Szwecji, Norwegii, Danii, Hiszpanii, Francji i Jugosławii, a ostatnio również w Polsce, o nazwie "Vecom" [71]. Zestawy naprawcze są też wytwarzane z materiałów krajowych i stosowane w kraju [82, 110, 113, 117, 119].

W związku z intensywnym rozwojem gospodarczym Polski, należy przeto spodziewać się ograniczania rozwoju gospodarki remontowej - jednak wykorzystanie i znaczenie tworzyw epoksydowych w naprawie maszyn nie będzie się zmniejszało, lecz odwrotnie, udział tych materiałów będzie się z pewnością zwiększał. Obserwuje się to już obecnie, bowiem tworzywa epoksydowe stają się w dużym stopniu niezbędnymi materiałami w naprawie maszyn.

Dotychczasowe zastosowania tworzyw epoksydowych w naprawie maszyn cechuje brak odpowiednich podstaw teoretycznych i doświadczeń, aczkolwiek zastosowania te są już w niektórych dziedzinach dość liczne i różnorodne. Ale w wielu przypadkach zastosowania te są nieracjonalne przy czym wyzyskuje się w nich tylko część możliwości, jakie stwarza wykorzystanie tworzyw epoksydowych. Poza tym dalszy rozwój tego wykorzystania staje się coraz bardziej nieracjonalny /zagadnienie to rozwinięto w p. 1.2/.

Na podstawie prac rozpoznawczych i literatury ustalono ogólny cel pracy obejmujący:

- 1/ możliwie dokładne zbadanie zjawisk zachodzących pod obciążeniem w tzw. elementach epoksydowych, stosowanych w miejscu zużycia lub uszkodzenia przedmiotu, w celu jego naprawy oraz podanie charakterystyki współdziałania pod obciążeniem złączonej trwale pary materiałowej: tworzywo epoksydowe - materiał przedmiotu naprawianego,
- 2/ rozważania dotyczące podstaw teoretycznych i doświadczalnych wykorzystania tworzyw epoksydowych w naprawie maszyn w świetle możliwych do stosowania, w specyficznych warunkach przeprowadzania napraw, metod przetwórstwa tworzyw epoksydowych.

Dalszym, ale nie mniej ważnym celem pracy, było opracowanie koncepcji różnych rozwiązań technologiczno-konstrukcyjnych w procesie naprawy przy wykorzystaniu tworzyw epoksydowych. Chodzi oczywiście o rozwiązania technicznie wartościowe i ekonomicznie uzasadnione.

Obok podanego celu pracy przewijało się dodatkowe zadanie dostarczenia technologom i konstruktorom dokładniej uzasadnionych podstaw do optymalizacji i usprawnienia procesów naprawczych przy wykorzystaniu tworzyw epoksydowych, jak i obniżenia kosztów naprawy.

Praca została wykonana przede wszystkim w ujęciu technologicznym. Przeprowadzono badania laboratoryjne oraz eksploatacyjne. W badaniach laboratoryjnych, obok innych, zastosowano nową metodę badań nazwaną "oddzieranie obwodowe". Wyniki badań laboratoryjnych, potwierdzone i rozszerzone badaniami eksploatacyjnymi, zostały wdrożone do praktyki przemysłowej.

Rozdział 1

CHARAKTERYSTYKA I MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA TWORZYW EPOKSYDOWYCH W NAPRAWIE MASZYN

1. 1. Ogólny stan i kierunki wykorzystania tworzyw sztucznych w na - prawie maszyn^{x/}

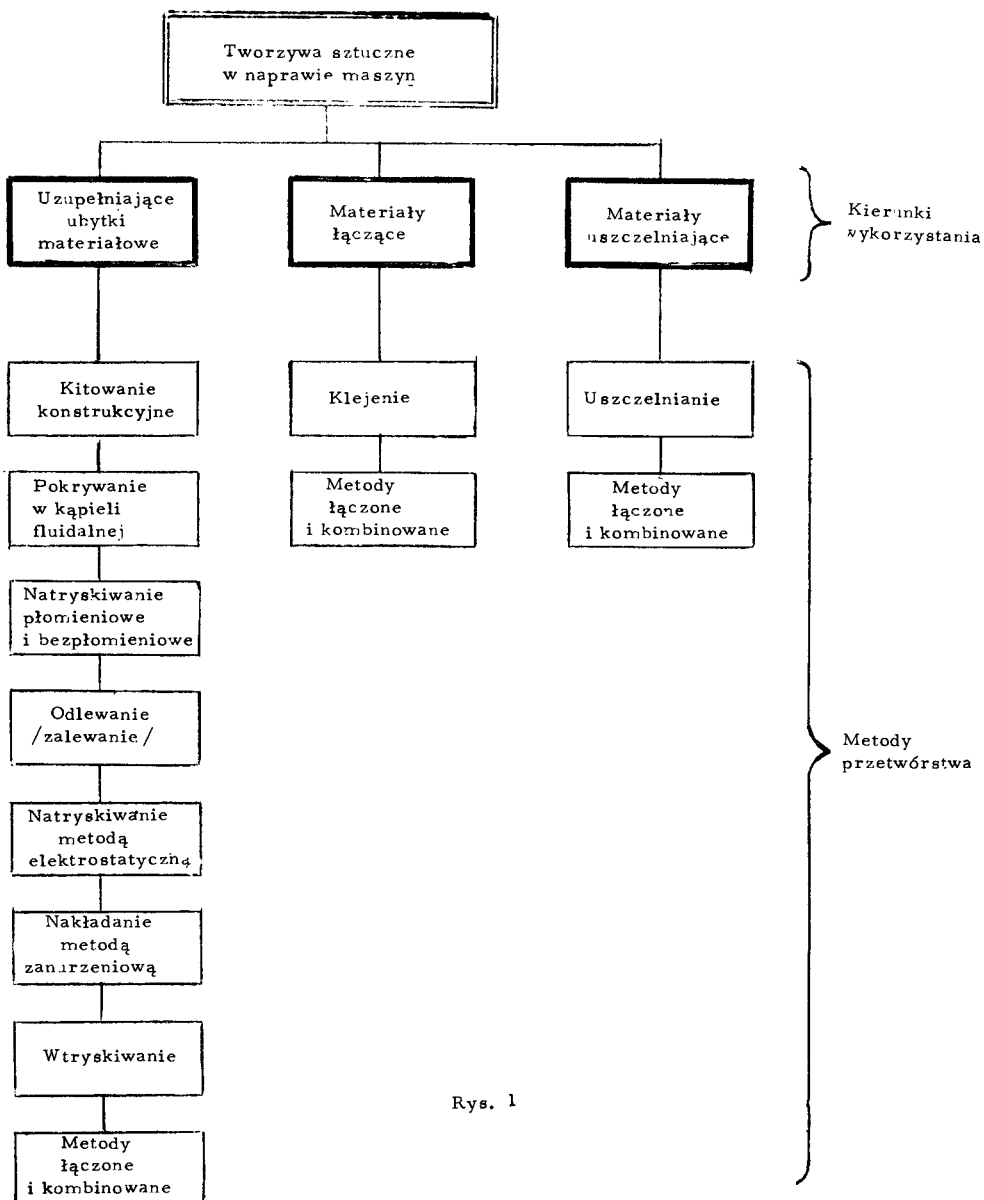
Jest wręcz niemożliwe poprawne rozwiązywanie współczesnych problemów konstrukcyjnych, technologicznych i eksploatacyjnych w technice bez wprowadzania tworzyw sztucznych jako pełnowartościowych, a często lepszych niż tradycyjne, materiałów konstrukcyjnych, stwarzających nowe możliwości techniczne.

Tworzywa sztuczne wykorzystuje się zarówno w aktualnej produkcji nowych maszyn, jak w ich naprawie i modernizacji. Jak dotychczas, stosunkowo mało uwagi poświęca się, mimo dużych możliwości, stosowaniu tworzyw sztucznych w naprawie maszyn, które charakteryzuje się z zasady dużą efektywnością techniczną i ekonomiczną. Można stwierdzić, że zagadnienia wykorzystania tworzyw sztucznych w naprawie maszyn są w dużym stopniu, a niekiedy całkowitą nowością. W dostępnej literaturze krajowej nie można znaleźć publikacji, w której zagadnienia te zostały przedstawione wyczerpująco. Stan literatury zagranicznej jest niewiele lepszy z tym, iż najwięcej wiadomości z tego zakresu można spotkać w literaturze radzieckiej, niemieckiej i węgierskiej. Jak wynika z rozeznania przeprowadzonego w przedsiębiorstwach krajowych, praktyka wykorzystania tworzyw sztucznych w naprawie maszyn jest często niewłaściwa.

Wspólną cechą charakterystyczną sposobów wykorzystania tworzyw sztucznych w naprawie maszyn jest proces trwałego łączenia tworzyw sztucznych z różnymi materiałami.

^{x/} Przy opracowywaniu tego ustępu wzięto również pod uwagę postulaty prac oznaczonych następującymi numerami porządkowymi wykazu literatury: [4, 5, 75, 81, 93, 95, 103].

Na podstawie głównego przeznaczenia tworzyw sztucznych w naprawie maszyn, dają się wyodrębnić następujące podstawowe kierunki wykorzystania tych materiałów /rys. 1/.



Rys. 1

Rys. 1. Schematyczne przedstawienie podstawowych kierunków wykorzystania i metod przetwórstwa tworzyw sztucznych w naprawie maszyn.

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

- w wyniku naprawy zmieniają się materiały części współpracujących; przed naprawą była współpraca pary materiałowej: metal-metal lub metal-niemetal, a po naprawie jest współpraca pary materiałowej: metal-tworzywo sztuczne,
- w wyniku naprawy 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 konstrukcyjne, pokrywanie w kąpeli fluidalnej, natryskiwanie płomieniowe i bezpłomieniowe /napylanie/, odlewanie /zalewanie/, natryskiwanie metodą elektrostatyczną, nakładanie przez zanurzenie, wtryskiwanie, łączone metody przetwórstwa i metody kombinowane, np. kitowanie połączone ze ślusarskimi metodami naprawy.

- 2/ Wykorzystanie tworzyw sztucznych jako materiałów łączących, głównie przy następujących metodach przetwórstwa: klejenie, łączone metody przetwórstwa i metody kombinowane.
- 3/ 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 jako sposoby naprawy /regeneracji/, podobnie jak napawanie lub metalizacja. Oczywiście nie wszystkie metody są aktualnie stosowane i nie wszystkie mają jednakowe perspektywy stosowania.

Spośród wielu rodzajów tworzyw sztucznych, w naprawie maszyn, jak dotychczas, wykorzystuje się przede wszystkim tworzywa epoksydowe, poliestrowe, fenolowe, silikonowe, poliamidy, polimetakrylany metylu i polieretany. Najszerzej stosuje się jednak tworzywa epoksydowe. Jest to spowodowane korzystnym zespołem własności tworzyw epoksydowych, szczególnie dużą adhezją /przyczepnością/ do innych materiałów, łatwością modyfikacji własności przez użytkownika tworzyw epoksydowych w czasie ich przetwórstwa, 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 wykorzystania.

Racjonalne i efektywne wykorzystywanie tworzyw sztucznych w naprawie maszyn wymaga znajomości elementów całego szeregu dyscyplin naukowych, a głównie: fizyki i chemii powierzchni ciała krystalicznego i bezpostaciowego, fizyki i chemii tworzyw sztucznych, wytrzymałości

materiałów, nauki o tarciu i zużyciu, nauki o eksploatacji i niezawodności maszyn, ekonomiki, organizacji pracy oraz psychosocjologii, a także logiki. Znajomość ta polegać powinna przede wszystkim na umiejętności kompleksowego wykorzystywania wiadomości podstawowych z tych dyscyplin, w celu ich praktycznego stosowania. Szczególnie istotna wydaje się tu umiejętność godzenia przeciwieństw zachodzących między wymaganiami użytkowników maszyn, w skład których wchodzi naprawiane elementy, a możliwościami wykonawczymi ustalonymi głównie przez technologów.

1.2. Zarys rozwojowy i perspektywy wykorzystania tworzyw epoksydowych w naprawie maszyn

Tworzywa epoksydowe /podobnie jak inne tworzywa sztuczne/ można wykorzystywać w produkcji nowych maszyn lub w ich naprawie. Wykorzystanie tych tworzyw w produkcji nowych maszyn jest starsze i bardzo różnorodne oraz ma już pewien dorobek w literaturze. Prowadzi się też w tym zakresie wiele prac naukowych oraz wdrożeniowych w różnych instytutach naukowo-badawczych i przemysłowych, katedrach wyższych uczelni technicznych, zakładach badań i doświadczeń, biurach konstrukcyjnych i technologicznych oraz laboratoriach różnych przedsiębiorstw. Coraz częściej tworzywa epoksydowe stosuje się na elementy konstrukcyjne przenoszące obciążenia.

Inaczej jest, jeżeli chodzi o wykorzystanie tworzyw epoksydowych w naprawie maszyn. Prace w tym zakresie wykonywane są jeszcze niestety często w sposób rzemieślniczy i na wycucie z małym wykorzystaniem wyników prac naukowych /głównie z powodu ich niedostatecznej ilości/. Nie prowadziło się dotychczas kompleksowych prac naukowych i wdrożeniowych w dziedzinie wykorzystania tworzyw epoksydowych w naprawie maszyn. Nieliczne w stosunku do potrzeb prowadzone badania są na ogół wycinkowe, rozdrobnione i niedostatecznie skoordynowane zarówno pod względem tematów jak i metod badań. Wyniki badań publikowane są wszędzie, gdzie się tylko da je opublikować. Literatura dotycząca tych zagadnień jest uboga i podaje najczęściej przykłady pomyślnych zastosowań tworzyw epoksydowych, wskazówki technologiczne i konstrukcyjne bez dokładniejszych wyjaśnień oraz uzasadnień. Spotyka się też informacje, zwłaszcza w literaturze zachodnioeuropejskiej i amerykańskiej, o charakterze reklamowym, w których podkreśla się wyższość tworzyw epoksydowych nad innymi materiałami. Dotychczasowe wiadomości nie pozwalają na podanie chociażby zrzębów podstaw naukowych wykorzystania tych materiałów w naprawie maszyn.

Tworzywa epoksydowe są jednak dość rozpowszechnione w naprawie maszyn. Stało to się na skutek dążenia w przedsiębiorstwach i jednostkach naprawiających lub eksploatujących maszyny do osiągnięcia du-

żej efektywności technicznej i ekonomicznej naprawy, co było stosunkowo łatwe do uzyskania przez wykorzystanie przez tworzysz epoksydowych, nawet gdy było ono niezupełnie racjonalne.

Wykorzystanie to początkowo nie zawsze było właściwe z technicznego punktu widzenia, a jego zakres był mały w porównaniu z możliwościami, jakie stwarza stosowanie tych tworzyw. Zakres ten niekiedy ograniczał się tylko do klejenia lub kitowania pękniętych korpusów silników spalinowych lub kitowania odlewów z wadami odlewniczymi. Stopniowo zastosowanie to rozwijało się jednak coraz bardziej intensywnie. Jeżeli chodzi o prace publikowane, to można tu wymienić przykładowo publikacje oznaczone następującymi numerami porządkowymi wykazu literatury: [20, 31, 37, 67, 68, 69]. Na szczególne wyróżnienie zasługują dwie prace, a mianowicie: H. Wąsowicza pt. "Metody naprawiania wadliwych odlewów przy pomocy tworzyw sztucznych", praca wydana w 1963 r. [105] oraz L. Kuleszy i B. Piskorskiego pt. "Żywice epoksydowe w remontach statków", praca wydana w 1965 r. [38]. Pierwsza z nich została opracowana głównie na podstawie badań i doświadczeń prowadzonych w Instytucie Odlewnictwa w Krakowie, a druga w Stoczni Remontowej "Parnica" w Szczecinie. Obie prace można uważać za pionierskie w skali krajowej.

W latach 1964-1966 podjęto w dalszych kilku innych ośrodkach w kraju odpowiednie prace nad wykorzystaniem tworzyw epoksydowych w naprawie maszyn. Obecnie prace naukowe i wdrożeniowe dotyczące tej problematyki prowadzone są w Polsce przez kilka ośrodków, m. in. przez /ułożone w kolejności alfabetycznej/: Gdańską Stocznnię Remontową w Gdańsku [18, 19], Instytut Odlewnictwa w Krakowie [104, 105], Instytut Transportu Samochodowego w Warszawie [15, 16], Kujawskie Zakłady Naprawy Samochodów w Solcu Kujawskim [36], Stocznnię Marynarki Wojennej w Gdyni [101], Wojskowy Instytut Techniki Pancernej i Samochodowej [110, 111], Wyższą Szkołę Marynarki Wojennej w Gdyni [113, 115, 116, 117, 118, 119], Zakład Doświadczalny Technologii Napraw Maszyn Rolniczych w Gdańsku [62, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 89, 90].

Naprawa maszyn przy wykorzystaniu tworzyw epoksydowych, w trzech kierunkach, wymienionych w poprzednim ustępie, wykonywana być może przez: klejenie, kitowanie, łączne klejenie z kitowaniem, klejenie z laminowaniem /nawarstwianiem/, klejenie z laminowaniem połączone z kitowaniem, uszczelnianie, odlewanie, pokrywanie w kąpielu fluidalnej, natryskiwanie płomieniowe i bezpłomieniowe oraz metody kombinowane. Wymienione metody przetwórstwa zastępują tradycyjne sposoby naprawy /regeneracji/ przez spawanie, napawanie, zgrzewanie, lutowanie, nitowanie, kołkowanie, łączenie na śruby, łączenie na wcisk, metalizację, galwaniczne nakładanie powłok i inne. Nie oznacza to bynajmniej, iż istnieje zmierzch tych wszystkich tradycyjnych sposobów naprawy. Dla każdej naprawy jest bowiem sposób, który w konkretnych warunkach zapewnia największe korzyści technologiczne i eka-

plasztyczne a niekiedy i konstrukcyjne. Metody przetwórstwa tworzyw epoksydowych, w odniesieniu do naprawy maszyn, są cennymi uzupełnieniami dotychczas stosowanych sposobów naprawy maszyn i stwarzają nowe, nieznane przedtem możliwości naprawy. Okazuje się przy tym, że wykorzystanie tworzyw epoksydowych charakteryzuje się m.in. dużymi efektami technicznymi i ekonomicznymi.

Na podstawie wieloletnich doświadczeń własnych i wiadomości z literatury można stwierdzić, że tworzywa epoksydowe są szczególnie przydatne przy zużyciach awaryjnych /uszkodzeniach/ maszyn.

Typowe przedmioty, naprawiane przez wykorzystanie tworzyw epoksydowych obecnie i w perspektywie, wydają się następujące: 1/ korpusy maszyn, np. silników spalinowych, przekładni zębatych, sprzęgieł, 2/ wanny /miski/ maszynowe, np. olejowe, wodne, 3/ zbiorniki, np. paliwa ciekłego, wody, 4/ pokrywy, np. prądnic, silników spalinowych, 5/ rurociągi, np. oleju smarnego, paliwa ciekłego, wody, 6/ elementy blaszane, np. elementy nadwozi pojazdów mechanicznych, 7/ naczynia, np. akumulatorów, 8/ elementy wirujące, np. wirniki pomp, okrętowe śruby napędowe, 9/ narzędzia skrawające, np. wiertła, ściernice, 10/ dźwignie, np. przełączników, 11/ drobne elementy, np. pokrętła, przyciski, zaciski, uchwyty, osłony.

Dotychczasowe wykorzystywanie tworzyw epoksydowych w naprawie maszyn wykazuje szereg zalet, główne z nich są następujące:

- małe koszty naprawy,
- z reguły bardzo prosta technologia stosowania tworzyw epoksydowych, na ogół nie wymagająca specjalnego oprzyrządowania,
- często mająca miejsce możliwość przeprowadzania naprawy bez demontażu lub przy częściowym demontażu maszyn i bez specjalnych urządzeń, np. podnośników,
- możliwość przeprowadzenia naprawy awaryjnej na miejscu wystąpienia awarii, np. na morzu /okrętownictwo/, w polu /rolnictwo/, w drodze /motoryzacja/, na budowie /budownictwo/, na poligonie /wojskowość/ itp.,
- możliwość przeprowadzania naprawy bardzo uciążliwej lub wręcz niemożliwej do przeprowadzenia innymi sposobami/wspomniana niemożliwość wynikać może na przykład z braku odpowiedniego dojazdu do miejsca naprawy, koniecznego w przypadku innych sposobów/,
- względna łatwość obróbki wykańczającej przedmiotów po naprawie /z reguły jest to obróbka skrawaniem/,
- uniknięcie naprężeń wstępnych powstających podczas niektórych sposobów naprawy np. przez często stosowane spawanie lub napawanie,
- brak wyraźnych spiętrzeń naprężeń w materiałach w miejscu łączenia oraz w utwardzonym tworzywie epoksydowym, pochodzących od sił zewnętrznych, głównie dzięki wykorzystaniu pełnej wytrzymałości elementów łączonych /np. nie występują otwory na nity, śruby, kołki itp./,

- nieprzepuszczanie płynu przez połączenia /szczelność połączeń/ tworzyw epoksydowych z materiałem przedmiotu w zakresie przeciętnie występujących wartości ciśnień,
- odporność utwardzonych tworzyw epoksydowych na działanie czynników chemicznych, najczęściej występujących podczas eksploatacji maszyn,
- estetyczny wygląd części naprawionych ze względu na brak szwów spawalniczych lub wystających łbów, nitów, śrub,
- możliwość zatrudnienia pracowników o niższych kwalifikacjach zawodowych lub tylko przyuczonych /nie kojarzyć z pracownikami o niskiej etyce zawodowej/.

Wykorzystanie tworzyw epoksydowych ma również wady, z których najistotniejsze to: stosunkowo mała odporność utwardzonych tworzyw epoksydowych na działanie wysokich temperatur, obciążeń silnie uderowych i długotrwałe działanie wody, konieczność właściwego przygotowywania powierzchni elementów do łączenia z tworzywami epoksydowymi oraz konieczność ścisłego przestrzegania przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy, ze względu na szkodliwe dla zdrowia działanie większości materiałów używanych podczas naprawy przy wykorzystaniu tworzyw epoksydowych. Wady te mają jednak coraz mniejsze znaczenie w miarę postępu naukowo-technicznego. Niektóre z nich już obecnie są niemal bez znaczenia.

Trzeba jeszcze krótko ustosunkować się do dwu nowoczesnych sposobów naprawy, które niekiedy w pewnych warunkach są traktowane jako sposoby "konkurencyjne" w stosunku do stosowania tworzyw epoksydowych, a mianowicie do sposobu spawania i napawania niskotemperaturowego Eutalloy /szwajcarska firma Castolin/ oraz Metallit /zachodnoniemiecka firma Metallit-Verwaltungsgesellschaft m. b. H. /, jak również do sposobu szycia Metalock /brytyjska firma Metalock/. Odtóż sposób Eutalloy i Metallit, polegający jak wiadomo, na spawaniu specjalnymi elektrodami i napawaniu specjalnymi proszkami metali, pozwala uniknąć znacznie większych odkształceń i naprężeń w naprawianych elementach. Wymaga kosztownego importowanego sprzętu spawalniczego oraz proszku metali do napawania i elektrod do spawania, jak również wysokich kwalifikacji pracowników. Zszywanie pęknięć bez zabiegów cieplnych sposobem Metalock z wstawkami Masterlock i wkretami Metalace jest wykonywane na prawach licencji przez specjalistów z Gdańskiej Stoczni Remontowej. Naprawa niemal całkowicie przywraca elementom pierwotną wytrzymałość i szczelność. Jest jednak dość pracochłonna, wymaga stosowania oryginalnych drogich wkretów, wstawek, wkładek, poza tym może być stosowana do przedmiotów o grubości ścianek większej niż około 4 mm. Z tych powodów oba sposoby mają dość ograniczone zastosowanie w naprawie maszyn, zwłaszcza w Polsce.

1. 3. Syntetyczne ujęcie zagadnienia wykorzystania tworzyw epoksydowych w naprawie maszyn

Rozpatrując zagadnienie wykorzystania tworzyw epoksydowych w naprawie maszyn w ujęciu syntetycznym, wydaje się, iż należy wziąć pod uwagę zespół określonych czynników, obejmujących problematykę związaną z:

- konstrukcją złącza; tworzywo epoksydowe - materiał przedmiotu naprawianego,
- jakością powierzchni przedmiotów naprawianych przygotowanych do trwałego łączenia z tworzywem epoksydowym,
- własnościami użytkowymi nieutwardzonych tworzyw epoksydowych i ich recepturą,
- technologią metod przetwórstwa tworzyw epoksydowych,
- jakością metod przetwórstwa tworzyw epoksydowych,
- problemami wdrażania metod przetwórstwa.

Zostanie to poniżej w możliwie związku sposób rozwinięte.

Konstrukcja złącza: tworzywo epoksydowe - materiał przedmiotu naprawianego obejmuje przede wszystkim takie czynniki jak: rodzaj materiałów łączonych, rodzaj tworzywa epoksydowego, cechy geometryczne złącza i zakładany poziom jakości sposobu naprawy /głównie trwałości i niezawodności/.

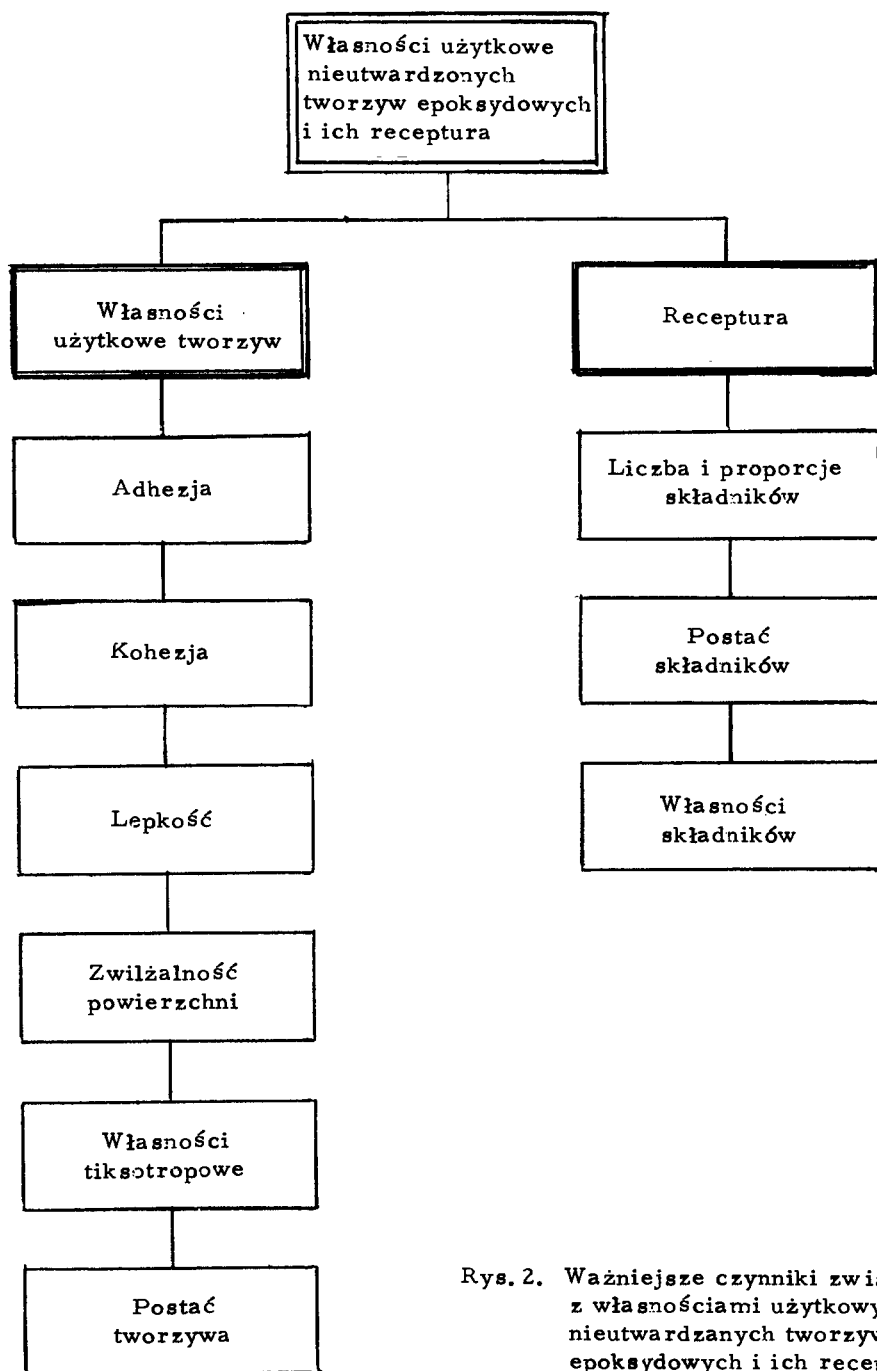
Jakość powierzchni, przygotowanej do trwałego łączenia z tworzywem epoksydowym, jest zbiorem określonych cech wyrażonych wielkościami geometrycznymi i fizycznymi, określających stan nierówności powierzchni oraz stan warstwy wierzchniej przedmiotu, otrzymanych w wyniku procesów fizycznych i chemicznych /obróbki/. Cechy te decydują o stopniu przydatności użytkowej, a także społecznej do łączenia z tworzywem epoksydowym w odniesieniu do określonych warunków eksploatacji naprawionego przedmiotu zgodnie z jego przeznaczeniem. Naprawione przedmioty najczęściej nie są eksploatowane oddzielnie, lecz łącznie z eksploatacją maszyny, w skład której wchodzi, zatem wspomniany stopień przydatności użytkowej i społecznej należy rozumieć w odniesieniu do danej maszyny. Na przykład, jeżeli stopień przydatności powierzchni do klejenia przywracającego utraconą zdolność spełniania określonej funkcji użytkowej elementu maszyny jest duży, można mówić o wysokiej jakości przygotowanej powierzchni i odwrotnie, jeżeli stopień przydatności do klejenia tego samego elementu w innej maszynie jest mały, można mówić o niskiej jakości powierzchni przygotowanej. Stopień przydatności społecznej oznacza, że wysokość wymagań określa się w związku z warunkami gospodarczymi, stopniem rozwoju przemysłowego i kulturalnego jednostki gospodarczej, w której przeprowadza się naprawę i eksploatuje naprawiony

przedmiot. Do najistotniejszych, czynników związanych z jakością przygotowanej powierzchni, zalicza się [25, 32, 60]: a/ falistość, chropowatość, przyleganie, kierunkowość nierówności powierzchni, skażenia i skaży struktury geometrycznej, b/ skład chemiczny, grubość, strukturę /szczególnie ważna jest struktura strefy przypowierzchniowej/, odkształcenia i naprężenia warstwy wierzchniej.

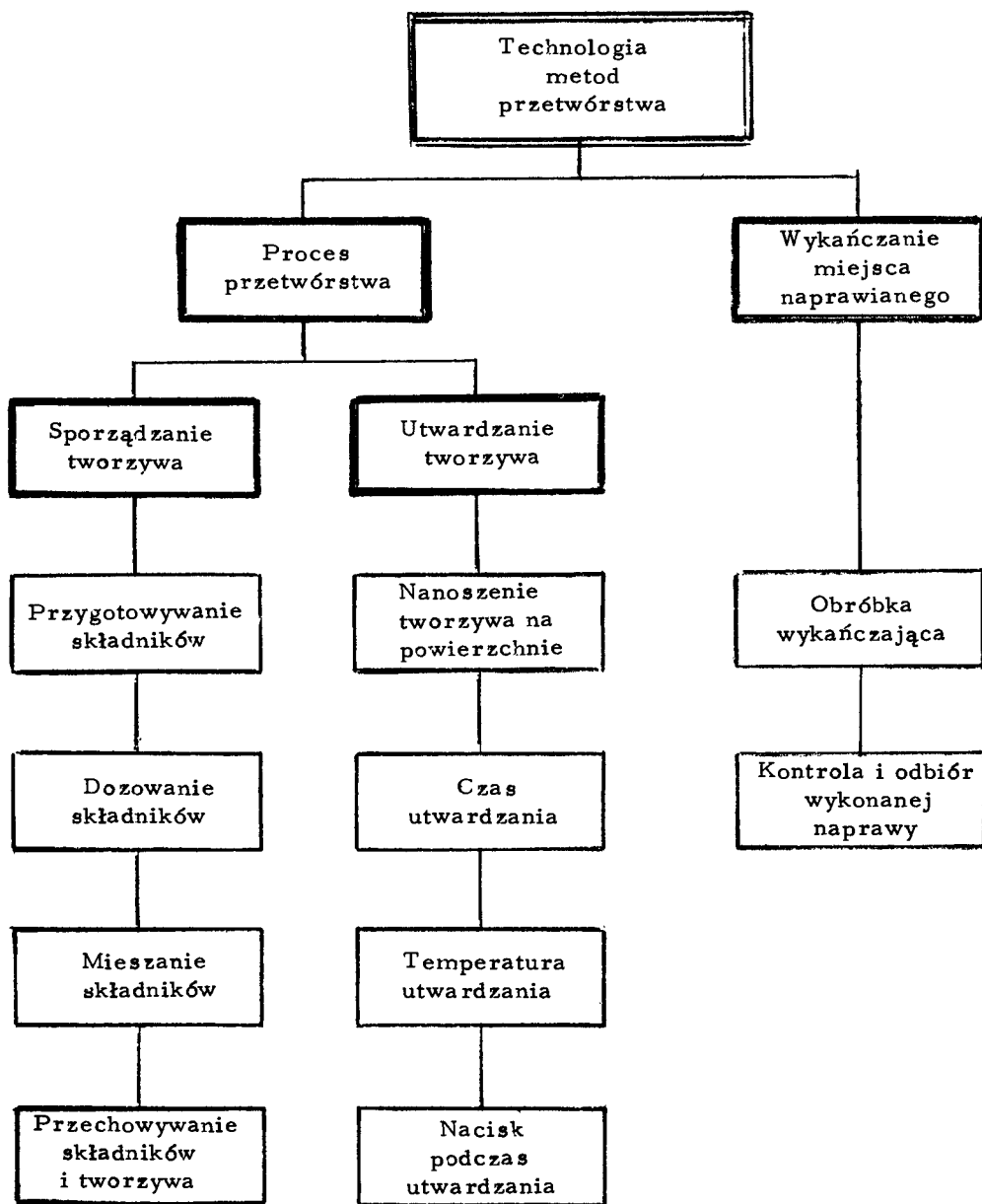
Własnościami użytkowymi nieutwardzonych tworzyw epoksydowych proponuje się nazywać umownie te własności, które są istotne z punktu widzenia użytkownika przetwarzającego tworzywa. W związku z tym jako własności użytkowej nie można np. traktować napięcia powierzchniowego, gdyż użytkowników interesuje głównie zwilżalność powierzchni, która jak wiadomo, jest wynikiem m. in. napięcia powierzchniowego. Główne czynniki, związane z własnościami użytkowymi nieutwardzonych tworzyw epoksydowych, to: adhezja /przyczepność/, kohezja /spoiwość/ lepkość, zwilżalność powierzchni, własności tiksotropowe, postać nieutwardzonego tworzywa, liczba i proporcje składników, postać składników, własności składników. Czynniki te można zgrupować na związane z własnościami użytkowymi nieutwardzonych tworzyw epoksydowych oraz z recepturą tworzyw /rys. 2/.

Technologią metod przetwórstwa tworzyw epoksydowych /technologią sposobów naprawy/ nazywa się ogół wiadomości o sposobach i umiejętnościach przetwórstwa tworzyw epoksydowych w odniesieniu do naprawy maszyn. Istotnymi czynnikami, związanymi z technologią metod przetwórstwa, są: przygotowanie składników, dozowanie składników, mieszanie składników, przechowywanie składników i tworzywa epoksydowego, nanoszenie tworzywa na powierzchnie, czas utwardzania tworzywa, temperatura utwardzania tworzywa, nacisk podczas utwardzania tworzywa, obróbka wykańczająca, kontrola i odbiór wykonanej naprawy. Kontrakcja objętości tworzywa podczas utwardzania /skurcz utwardzania/ stanowi ważną cechę procesu przetwórstwa, jest ona jednak efektem poliaddycji, warunków utwardzania oraz innych czynników i dlatego nie została wyżej wymieniona. Wymienione czynniki można zgrupować na związane z procesem przetwórstwa oraz wykańczaniem miejsca naprawianego /rys. 3/. Jako proces przetwórstwa tworzywa epoksydowego w odniesieniu do naprawy maszyn przyjęto szereg określonych czynności, za pomocą których przeprowadza się trwałe łączenie materiału przedmiotu z tworzywem epoksydowym. Przygotowywaniu, dozowaniu, mieszaniu i przechowywaniu nadano wspólne miano sporządzenia nieutwardzonego tworzywa epoksydowego, a pozostałe czynności technologiczne dotyczą utwardzania tworzywa.

Jakość metod przetwórstwa tworzyw epoksydowych /jakość sposobów naprawy/ jest zespołem określonych czynników, decydujących o stopniu przydatności użytkowej i społecznej metod w odniesieniu do określonych warunków eksploatacji naprawionych przedmiotów zgodnie z ich przeznaczeniem. Jak podano, najczęściej przedmioty są eksploatowane łącznie z eksploatacją maszyn, w skład których wchodzi. Zatem



Rys. 2. Ważniejsze czynniki związane z własnościami użytkowymi nieutwardzanych tworzyw epoksydowych i ich receptura



Rys. 3. Ważniejsze czynniki związane z technologią metod przetwórstwa tworzyw epoksydowych.

stopień przydatności użytkowej i społecznej metod należy rozumieć w odniesieniu do danej maszyny. Na przykład, jeżeli stopień przydatności kitowania przywracającego wyczerpaną zdolność spełniania przypisanej funkcji użytkowej elementu maszyny jest duży, mówi się o wysokiej jakości kitowania i odwrotnie, jeżeli stopień przydatności kitowania tego samego elementu w innej maszynie jest mały, mówi się o niskiej jakości kitowania. Stopień przydatności społecznej oznacza, że wysokość wymagań określa się w powiązaniu z warunkami gospodarczymi, stopniem rozwoju gospodarczego i kulturalnego jednostki gospodarczej, w której wykonuje się naprawę i eksploatuje naprawione przedmioty /podobnie jak przy jakości przygotowanej powierzchni/.

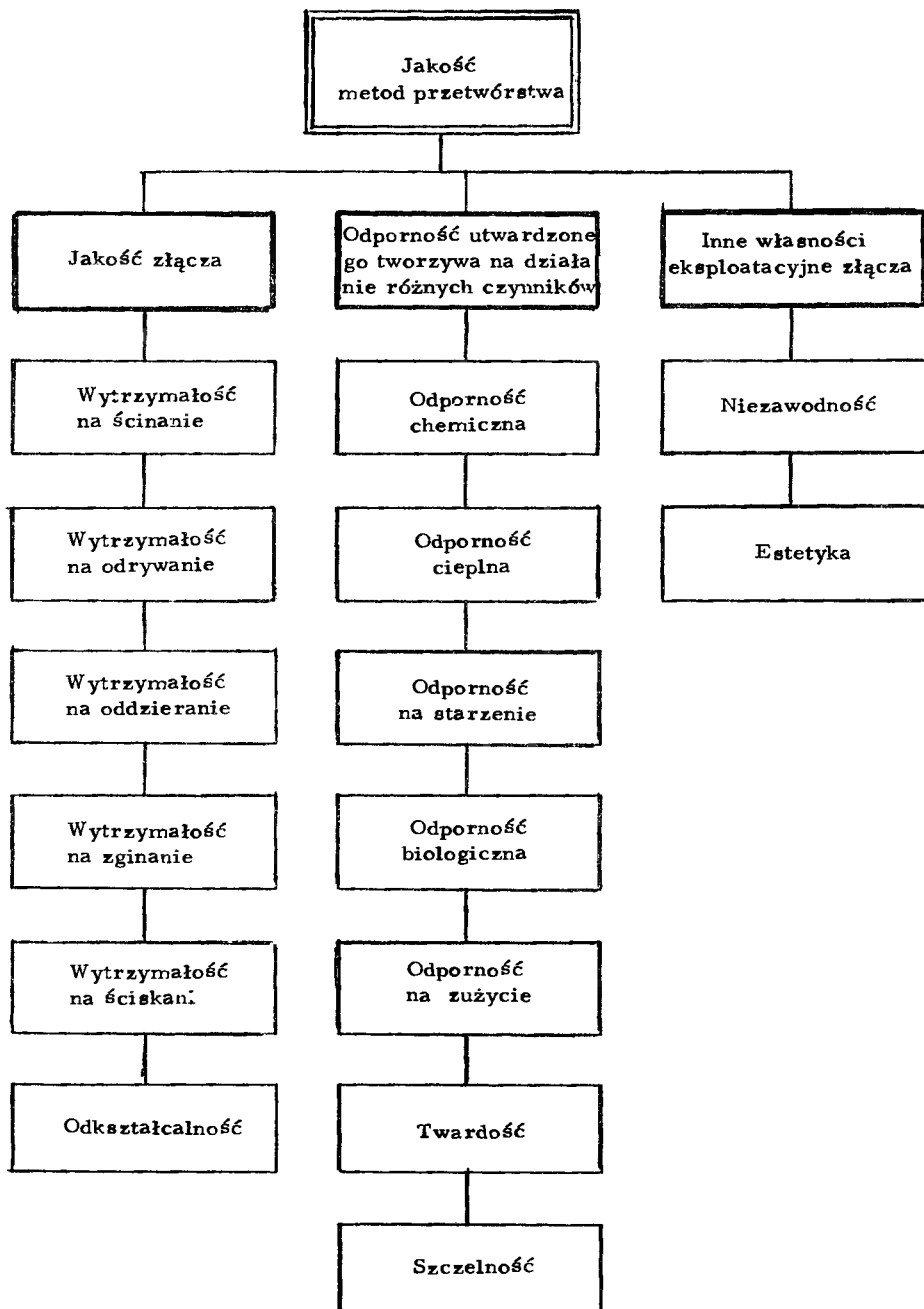
Głównymi czynnikami, związanymi z jakością metod przetwórstwa tworzyw epoksydowych, są: wytrzymałość statyczna i dynamiczna złącza na ścinanie, odrywanie, oddzieranie, zginanie, ściskanie, odkształcalność oraz odporność chemiczna, cieplna, biologiczna utwardzonego tworzywa epoksydowego, odporność tworzywa epoksydowego na starzenie, odporność na odkształcenie trwałe pod wpływem sił skupionych działających na małą powierzchnię tworzywa - twardość, odporność na zużycie /głównie odporność na zużycie ściernie/, nieprzepuszczanie płynu /szczelność/, jak również niezawodność eksploatacyjna i estetyka złącza. Czynniki te można zgrupować na związane z jakością złącza, odpornością utwardzonego tworzywa na działania różnych czynników i substancji oraz na związane z innymi właściwościami eksploatacyjnymi złącza /rys. 4/. Jako jakość złącza przejęto rozumieć zespół określonych właściwości mechanicznych złącza, decydujących o stopniu przydatności użytkowej i społecznej złącza w określonych warunkach jego eksploatacji zgodnie z przeznaczeniem.

Problemy wdrażania metod przetwórstwa tworzyw epoksydowych /sposobów naprawy/ obejmują, jak łatwo zauważyć, przede wszystkim elementy psychosocjologii, zwyczajów oraz tradycji i wreszcie właściwie ukierunkowanych zachęt ekonomicznych.

Trzeba na zakończenie dodać, iż syntetyczne ujęcie zagadnienia wykorzystania tworzyw epoksydowych w naprawie maszyn, można przedstawić w różny sposób. Jednakże wprowadzenie do rozważań pojęcia "przydatność społeczna" wydaje się dość istotne, bowiem wyraźnie i w sposób bardziej całościowy uwidacznia "poziom odniesienia" w stosunku do wymagań, np. odnośnie do jakości złącza tworzywa epoksydowego z materiałem przedmiotu naprawianego. Nazwa "przydatność społeczna" może początkowo powodować nieco inne niż zamierzono skojarzenia znaczeniowe, ale autor nie mógł dobrać nazwy właściwszej.

1. 4. Ogólna charakterystyka tworzyw epoksydowych

Poniżej podano podstawowe wiadomości o właściwościach tworzyw epoksydowych. Są one niezbędne dla prowadzenia badań teoretycznych



Rys. 4. Ważniejsze czynniki związane z jakością metod przetwórstwa tworzyw epoksydowych

i doświadczalnych w zakresie wykorzystania tworzyw epoksydowych w naprawie maszyn, jak i późniejszego praktycznego stosowania tych materiałów.

Związki epoksydowe znane są od dawna [27]. Systematyczne prace nad syntezą żywic epoksydowych prowadził jednak dopiero w Zurychu P. Castan. W trakcie tych prac otrzymał w 1938 r. żywicę epoksydową w wyniku reakcji tzw. dianu z epichlorohydryną i opatentował metodę syntezy. Pierwszą żywicą epoksydową, która ukazała się na rynku światowym, była żywica o nazwie handlowej Araldit B. produkcji szwajcarskiej firmy Ciba. Żywica została wystawiona na Szwajcarskich Targach Przemysłowych w Zurychu w 1946 r. W tym czasie w Stanach Zjednoczonych A. P. prace nad żywicami epoksydowymi prowadziła firma Shell i firma Devoe and Reynolds.

Produkcja żywic epoksydowych, utwardzaczy i innych produktów stosowanych w przetwórstwie żywic, szybko rozwinęła się w wielu krajach; najwcześniej w Szwajcarii i USA, następnie w Wielkiej Brytanii, Holandii, NRF, Czechosłowacji, NRD, Polsce, na Węgrzech itd. [11, 27, 30, 41]. Światowa produkcja żywic epoksydowych w latach 1955 + 1970 wynosiła 0, 6 + 0, 7 % całkowitej światowej produkcji tworzyw sztucznych [64]. Choć nie dorównuje ona rozmiarami takim tworzywom jak polietylen, polichlorek winylu, polistyren czy fenoplasty, ma jednak - jak wykazuje rozwój krajów wysoko rozwiniętych - wielkie, często decydujące znaczenie dla rozwoju wielu dziedzin techniki i postępu naukowo-technicznego.

Produkcję żywic epoksydowych o nazwie handlowej Epidian podjęto w Polsce w Zakładach Chemicznych "Sarżyna" w Nowej Sarżynie w województwie rzeszowskim w 1958 roku, a więc przeszło 10 lat po ukazaniu się na rynku światowym pierwszych produktów handlowych tego typu. Produkcję tę uruchomiono, wykorzystując wyniki badań prowadzonych od podstaw w dawnym Instytucie Tworzyw Sztucznych w Warszawie. W kraju wytwarza się żywice podstawowe: Epidian 1, Epidian 2, Epidian 3, Epidian 4 i Epidian 5 oraz żywice modyfikowane, np. Epidian 51, Epidian 57, jak również wiele innych produktów /przetworów/ epoksydowych, np. klej Epidian 100, pastę Epidian 410 i Epidian 433, lakier epoksydowy Epidian 110 [13, 74]. Uruchomiono też produkcję utwardzaczy do żywic i innych produktów /jeszcze w niektórych przypadkach w skali doświadczałnej i półtechnicznej/, stosowanych w przetwórstwie żywic.

W Polsce rozwinęły się bardzo szybko zastosowania tworzyw epoksydowych. Spowodowane to zostało doskonałymi właściwościami tych tworzyw w porównaniu z właściwościami innych tworzyw sztucznych dostępnych na rynku krajowym.

Wszystkie tworzywa epoksydowe sporządza się z dwóch zasadniczych składników, a mianowicie żywicy i utwardzacza. Istnieje bardzo duża różnorodność tworzyw epoksydowych, która wynika m. in. z możliwości stosowania w postaci dodatków /modyfikatorów/ do żywic i

utwardzaczy różnych produktów, np. napelniaczy, rozcieńczalników, przyspieszaczy, środków zwiększających elastyczność, odporność cieplną utwardzonego tworzywa i innych. Dodatki te spełniają różne zadania, główne z nich to:

- nadanie utwardzonemu tworzywu, w pewnych granicach, z góry założonych własności,
- regulowanie przebiegu reakcji utwardzania,
- obniżenie ceny utwardzonego tworzywa.

Ponad 90 % wytwarzanych zagranicą i w kraju żywic epoksydowych otrzymuje się przez polikondensację dwuhydroksydwufenylopropanu tzw. dianu z epichlorohydryną. Żywice te noszą często nazwę żywic dianowych. Przez odpowiedni dobór proporcji obu składników i warunków polikondensacji otrzymuje się tym sposobem kilka typów żywic podstawowych.

Poszczególne żywice podstawowe różnią się między sobą wielkością cząsteczek, z którą wiąże się masa cząsteczkowa, np. dla żywicy Epidian 5 wynosząca około 380. Wielkością charakterystyczną żywic epoksydowych jest liczba epoksydowa, która określa zawartość grup epoksydowych w 100 g żywicy. Ma ona zasadnicze znaczenie dla ustalenia właściwej ilości utwardzacza. Żywice epoksydowe zaliczane są do żywic małowielkościowych w porównaniu z innymi żywicami np. fenolowymi. Charakterystykę żywic podstawowych produkcji krajowej podano w tabl. 1. Żywice podstawowe przed utwardzeniem są termoplastyczne.

Tablica 1

Charakterystyka podstawowych żywic epoksydowych
produkcji krajowej [12, 74]

Nazwa handlowa	Liczba epoksydowa w gramorówn. / 100 g	Zawartość grup epoksydowych w %	Temperatura mięknienia w °C	Lepkość	
				w 20°C cP	w 100°C cP
Epidian 1	0, 16±0, 20	9±12	63±74	-	-
Epidian 2	0, 20±0, 30	12±17	50±63	-	-
Epidian 3	0, 37±0, 43	21±24, 5	półciekła	-	40±100
Epidian 4	0, 42±0, 45	24±25, 5	półciekła	-	40±90
Epidian 5	0, 48±0, 52	powyżej 27	ciekła	do 80000	-

Uwaga: Masa cząsteczkowa żywicy Epidian 1 wynosi około 1000 a żywicy Epidian 5 około 380.

tyczne i można je wielokrotnie topić. W podwyższonych temperaturach tworzą mało lepkie cieczce, są dobrze rozcieńczalne w wielu rozcieńczalnikach organicznych. Z epoksydowych żywic podstawowych przez odpowiednią modyfikację otrzymuje się żywice modyfikowane.

Żywice epoksydowe zmieszane z utwardzaczami przekształcają się w chemicznym, egzotermicznym procesie utwardzania na zasadzie poliaddycji, w wielkocząsteczkowe tworzywa /polimery/ chemoutwardzalne i nietopliwe. Utwardzacze są związkami chemicznymi zdolnymi do poliaddycji z grupami epoksydowymi żywic. Utwardzaczami o znaczeniu praktycznym są: bezwodniki kwasów dwu- lub wielokarboksylowych oraz dwu- i wieloaminy alifatyczne, aminy aromatyczne, jak również poliaminoaminy.

Utwardzanie żywic epoksydowych przebiega bez wydzielania ubocznych produktów reakcji, jak np. wody, amoniaku, formaldehydu, które wydzielają się w procesach utwardzania klasycznych termoutwardzalnych tworzyw fenolowych, mocznikowych i innych. Ta cecha charakterystyczna pozwala na przetwarzanie tworzyw epoksydowych bez użycia ciśnienia. Podczas utwardzania następuje kontrakcja objętości, która może spowodować niepożądane naprężenia, jednak skurcz towarzyszący utwardzaniu jest bardzo mały. Wskutek tego utwardzone tworzywo dokładnie odtwarza kształt i wymiary w procesach odlewniczych. Utwardzone tworzywo epoksydowe może mieć dużą wytrzymałość mechaniczną, twardość, dobrą obrabialność, dużą odporność na działanie czynników chemicznych. Może być również dobrym dielektrykiem, mieć dużą oporność i małą stratność dielektryczną oraz dużą wytrzymałość na przebicie. Istnieją jednak proste metody technologiczne, stosowane przez użytkownika tworzyw epoksydowych w czasie ich przetwórstwa, zmieniające w pewnych granicach wymienione własności. Cechą zdecydowanie wyróżniającą tworzywa epoksydowe od innych tworzyw sztucznych jest duża adhezja do różnych materiałów.

1. 5. Wnioski i uwagi

Podane wiadomości oraz rozważania przeprowadzone w niniejszym rozdziale pozwalają wnioskować, że w najbliższych latach nie tylko zwiększy się zakres wykorzystania i ilość stosowanych tworzyw epoksydowych w naprawie maszyn, ale stanowić one będą już niezbędny materiał do przeprowadzania naprawy maszyn. Dotychczasowe zastosowania tworzyw epoksydowych w naprawie maszyn wskazują na to, iż dalsze zastosowania mogą być niezwykle postępowe w porównaniu z tradycyjnymi sposobami naprawy, a nawet w dużym stopniu w porównaniu z nowoczesnymi sposobami naprawy /oczywiście w nielicznych przypadkach porównywalnych/, takimi jak spawanie i napawanie Eutalloy oraz Metallit, jak również szycie Metalock.

Nastąpi to jednak pod warunkiem: a/ dokładniejszego poznania zjawisk zachodzących pod obciążeniem w tzw. elementach epoksydowych,

stosowanych w miejscu zużycia lub uszkodzenia przedmiotu, w celu jego naprawy i b/ podania charakterystyki współdziałania pod obciążeniem złączonej trwale pary materiałowej: tworzywo epoksydowe-materiał przedmiotu naprawianego. Dopiero wówczas będzie można, na tej podstawie, podjąć m.in. próbę precyzyjniejszego sformułowania podstaw teoretycznych i doświadczalnych wykorzystania tworzyw epoksydowych w naprawie maszyn przy uwzględnieniu metod przetwórstwa tworzyw epoksydowych możliwych do stosowania w warunkach przeprowadzania napraw maszyn. Będzie można również podjąć próbę opracowania koncepcji różnych rozwiązań technologicznych oraz konstrukcyjnych w procesie naprawy przy wykorzystaniu tworzyw epoksydowych, jak również optymalizacji tych rozwiązań.

Reasumując powyższe można stwierdzić, że własności tworzyw epoksydowych stwarzają przesłanki szerokiego i efektywnego /technicznie i ekonomicznie/ stosowania tych materiałów w naprawie maszyn, zarówno jeżeli chodzi o różnorodność i ilość elementów maszynowych, zużytych lub uszkodzonych w rozmaity sposób, jak również jeżeli chodzi o wyposażenie i formę organizacyjną stanowisk, na których przeprowadza się naprawę. Materiały używane do naprawy maszyn z wykorzystaniem tworzyw epoksydowych są w zdecydowanej większości wytwarzane w kraju. Wszystkie są dostępne na rynku krajowym.

Rozdział 2

BADANIA LABORATORYJNE

2. 1. Wstęp

Aby osiągnąć cel pracy, przyjęto za celowe i konieczne przeprowadzenie odnośnych laboratoryjnych badań wytrzymałościowych, które ze względu na swój charakter były również badaniami technologicznymi. Zostały one pomyślane jako jeden ze środków, zmierzających do osiągnięcia celu pracy. Badania miały zwłaszcza naświetlić zjawiska, zachodzące pod obciążeniem w elementach epoksydowych oraz miały charakteryzować współdziałanie pod obciążeniem związanej trwale pary materiałowej: tworzywo epoksydowe-materiał przedmiotu naprawianego. Przyjęto bowiem, iż jest to podstawowy warunek poprawnego wprowadzania tworzyw epoksydowych do naprawy maszyn. Badania o tak ustalonym zakresie można przeprowadzać na próbkach /znormalizowanych lub nieznormalizowanych/ oraz na przedmiotach naprawianych. Jedne i drugie mogą być niszczące lub nieniszczące.

Można stwierdzić, iż podstawowe metody przetwórstwa tworzyw epoksydowych w naprawie maszyn, to: klejenie, klejenie z laminowaniem, kitowanie oraz metody łączone z wymienionymi. W związku z tym trzeba wspomnieć o czterech polskich normach państwowych, dotyczących niszczących badań wytrzymałościowych klejonych próbek metali, a mianowicie: PN-69/C-89300, PN-59/C-89301, PN-69/C-89302 i PN-69/C-89304. Wymienione normy są niestety w małym stopniu przydatne do badań w zakresie wykorzystania tworzyw epoksydowych w naprawie maszyn, bowiem m. in. odnoszą się tylko do klejenia i to metalu z metalem, przy czym kształty próbek oraz wywierane obciążenia zewnętrzne również w małym stopniu odtwarzają rzeczywiste, bardzo różnorodne i częstokroć bardzo złożone, warunki pracy elementów epoksydowych w naprawie maszyn.

Można dojść do wniosku, że jeżeli chodzi o badania na próbkach znormalizowanych, to w polskich normach /państwowych, branżowych i zakładowych/ nie ma takiej normy, która odpowiadałaby specyfice wykorzystania tworzyw epoksydowych w naprawie maszyn. Również w do-

stępną zagranicznej literaturze normalizacyjnej takiej normy nie znaleziono.

Szybkie i dobre rozeznanie własności elementów epoksydowych uzyskuje się za pomocą badań laboratoryjnych bezpośrednio przeprowadzanych na przedmiotach naprawionych. Badania te mogą być przeprowadzane jako niszczące lub rzadziej jako nieniszczące. Badania niszczące na ogół są wykonywane pod obciążeniem mniejszym niż niszczące - lecz większym niż normalnie występujące podczas pracy przedmiotów. W czasie badań niszczących zwraca się uwagę na wartość obciążenia niszczącego, przebieg procesu niszczenia i wygląd złomów. Ułatwia to później ocenę wykorzystania tworzyw epoksydowych, wprowadzenie usprawnień technologicznych i konstrukcyjnych, ściśle ocenę stopnia zużycia lub uszkodzenia przedmiotu i wybór sposobu naprawy. Wadą badań na przedmiotach naprawionych jest przede wszystkim z zasady nieporównywalność otrzymanych wyników w przypadku różnych, a nawet tych samych przedmiotów rozmaicie zużytych lub uszkodzonych oraz trudności w praktycznej realizacji, wynikające z konieczności stosowania na ogół specjalnych urządzeń do badań i posiadania znacznej ilości przedmiotów naprawionych. Badania wykonywane na przedmiotach naprawionych są często stosowane do określonych celów praktycznych np. w bieżącej kontroli przeprowadzanej w przedsiębiorstwach stosujących tworzywa epoksydowe.

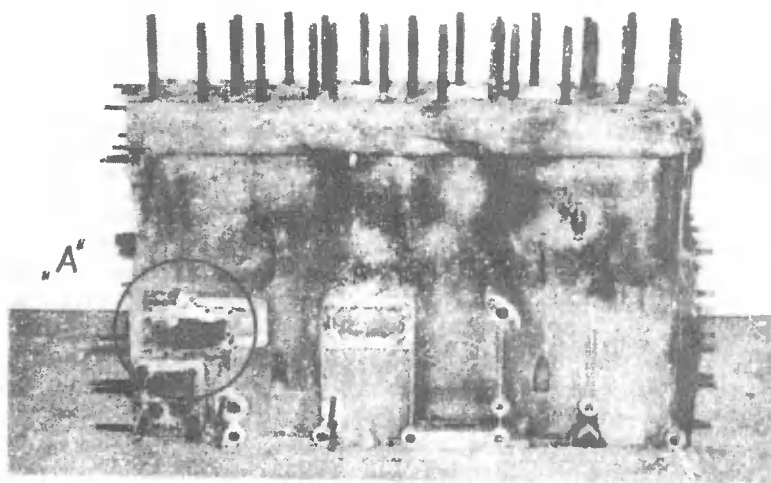
Należy jeszcze wspomnieć o badaniach nieniszczących, wykonywanych za pomocą promieni Roetngena i ultradźwięków [51, 59] oraz wykonywanych, z wykorzystaniem drgań rezonansowych, metodą Fokkera^{x/}. Badania te służą głównie do oceny jakościowej np. wykrywania wad połączeń klejowych, takich jak pęcherze i pęknięcia w warstwie kleju. Ocena ilościowa jest możliwa za pomocą aparatu "Fokker-Bondtester", jest on jednak niedostępny w kraju.

Postanowiono zatem dalej zrelacjonowane badania wytrzymałościowo-technologiczne przeprowadzić, wykorzystując własną metodę badań laboratoryjnych na odpowiednich próbkach.

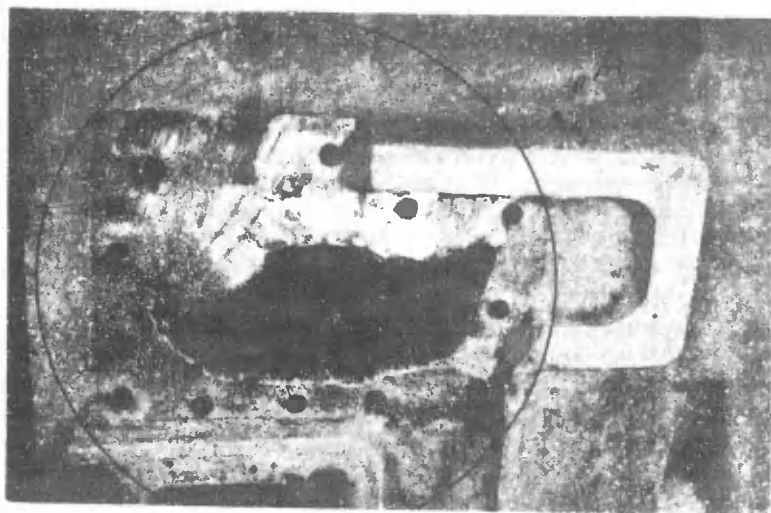
2.2. Przegląd znanych metod badań oddziaływania

Cechą specyficzną wykorzystywania tworzyw epoksydowych w naprawie maszyn jest stosowanie tkanin, które przykleja się do powierzchni elementów maszynowych w miejscu zużycia lub uszkodzenia. Przyklejoną tkaninę można powlec klejem i nałożyć na nią następne warstwy tkanin. Po wykonaniu jeszcze innych czynności /rozd. 3/ i utwardzeniu otrzymuje się tzw. element epoksydowy. Typowy przykład tego rodzaju naprawy pokazano na rys. 5a, b, c, d. Już z pobieżnej analizy wa-

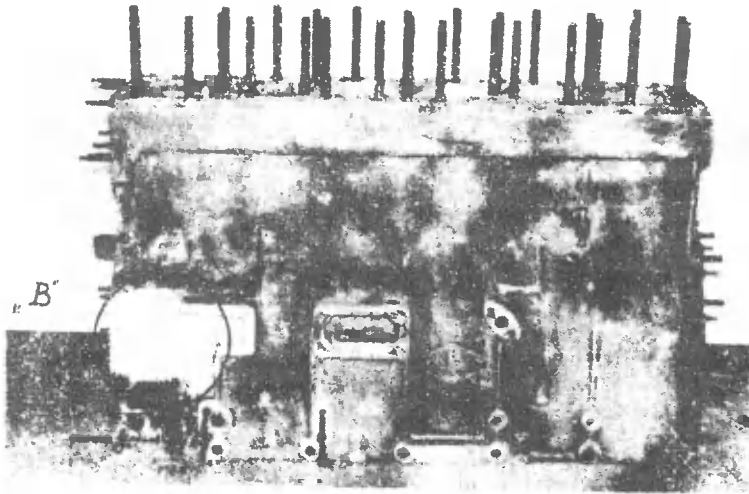
^{x/} Metoda została opracowana w holenderskich zakładach lotniczych N. V. Koninklijke Nederlandse Vliegtuigenfabriek Fokker.



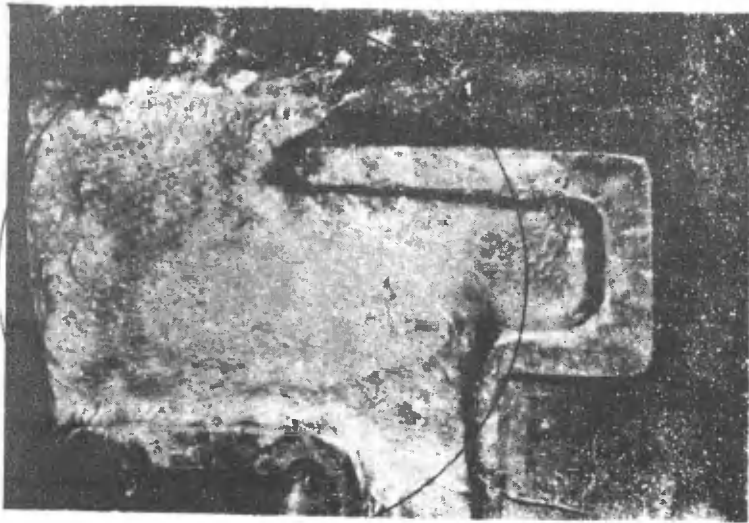
Rys. 5a



Rys. 5b



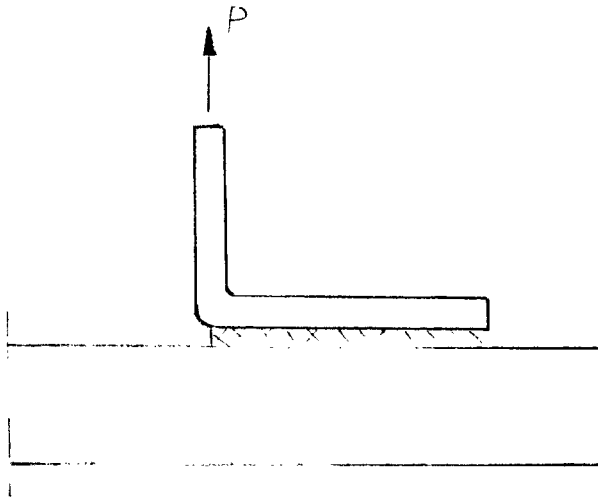
Rys. 5c



Rys. 5d

Rys. 5. Naprawa korpusu silnika wysokoprężnego "Perkins" przez wykorzystanie tworzyw epoksydowych /naprawa za pomocą nitowania nakładki metalowej nie powiodła się/: a/ ogólny wygląd korpusu przed naprawą, "A" oznacza miejsce uszkodzone, b/ fragment korpusu przed naprawą, c/ ogólny wygląd korpusu po naprawie, "B" oznacza miejsce naprawione, d/ fragment korpusu po naprawie.

runków pracy elementów epoksydowych przedmiotów naprawionych wynika, że podlegają one w czasie pracy w znacznym stopniu oddzieraniu. Występuje to mimo dążenia, głównie sposobami konstrukcyjnymi, do tego, aby elementy epoksydowe były narażone na nie w jak najmniej - szym stopniu. Wytrzymałość i odporność na oddzieranie jest bowiem mała dla obecnie znanych spoiw. Cechą charakterystyczną procesu oddzierania jest to, że obciążenie od sił zewnętrznych rozkłada się na małą powierzchnię o kształcie wąskiego paska /rys. 6/. W miejscu



Rys. 6. Schematyczne przedstawienie oddzierania: P-siła oddzierająca.

tym następuje znaczne spiętrzenie naprężeń, w wyniku czego połączenie ulega niszczeniu postępującemu wzdłuż linii.

Wytrzymałość na oddzieranie połączenia, rozumianą jako jego zdolność do przeciwstawiania się rozprzestrzenianiu miejscowego rozdzielania, określa się zależnością

$$R_o = \frac{P}{b} \quad /1/$$

gdzie:

R_o - wytrzymałość na oddzieranie,

P - siła oddzierająca,

b - szerokość połączenia.

Badania wytrzymałości na oddzieranie można przeprowadzać kilkoma metodami, różniącymi się kształtem i wymiarami stosowanych

próbek, rodzajem i wartością obciążenia oraz sposobem mocowania próbek. Próbkę do badań wykonuje się przez sklejenie dwóch elementów, z których co najmniej jeden ma postać paska z cienkiej blachy, tkaniny, gumy lub innego "elastycznego" materiału. W procesie niszczenia próbki element w postaci paska oddzierany jest od drugiego elementu o takiej samej lub większej sztywności. Wyniki otrzymane z badań przeprowadzanych różnymi metodami na próbkach z tego samego materiału i z tego samego kleju, przy identycznych warunkach klejenia są, jak łatwo przewidzieć, niejednakowe i jak dotąd nieporównywalne.

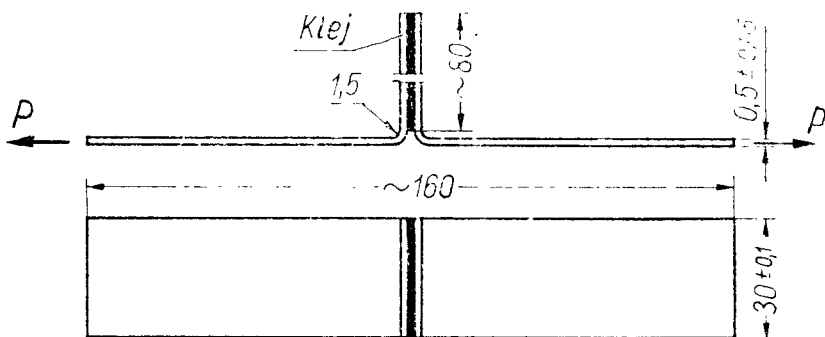
Tablica 2

Najważniejsze dotychczas znane metody badań
wytrzymałości na oddzieranie
/opracowano na podstawie literatury [2, 10, 44, 79, 100, 114] /

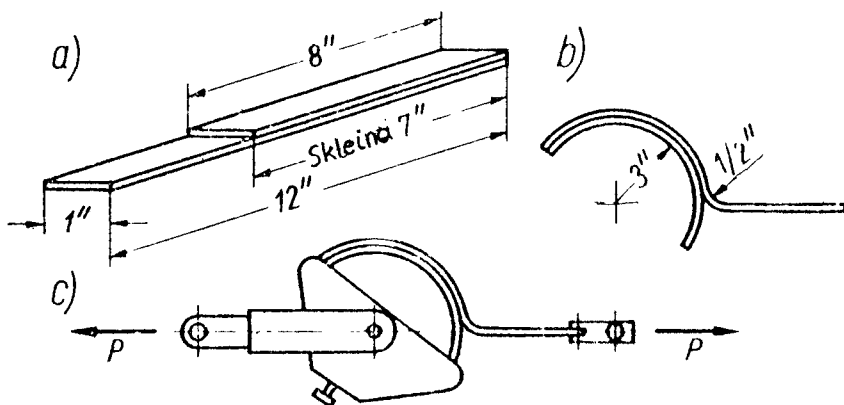
Nazwa metody	Szkic objaśniający zasadę metody
Metoda kątownikowa podana w PN-69/C-89302 /odmiana metody de Bruyna - Houwinka i Wintera- <u>Meckelburga</u> /	Rys. tabl. 2/1
Metoda CIBA opracowana w angielskich zakładach Aero Research Limited <u>Duxford-Cambridge</u>	Rys. tabl. 2/2
Metoda <u>Werrena-Eicknera</u>	Rys. tabl. 2/3
Metoda EMPA opracowana w Eidgenossische Material Prüfungs-Anstalt w Zurychu	Rys. tabl. 2/4
Metoda SAAB opracowana w szwedzkich zakładach Saab Aircraft Co., <u>Linköping</u>	Rys. tabl. 2/5
Metoda oddzierania przez zginanie	Rys. tabl. 2/6
Metoda USAF Spec. 14164 opracowana w <u>United States Air Forces</u>	Rys. tabl. 2/7
Metoda ASTM /D903-49/ opracowana w American Society for Testing <u>Materials</u> oraz metoda <u>Brockmanna</u>	Rys. tabl. 2/8

W tabl. 2 zestawiono najważniejsze dotychczas znane metody badań wytrzymałości na oddzieranie.

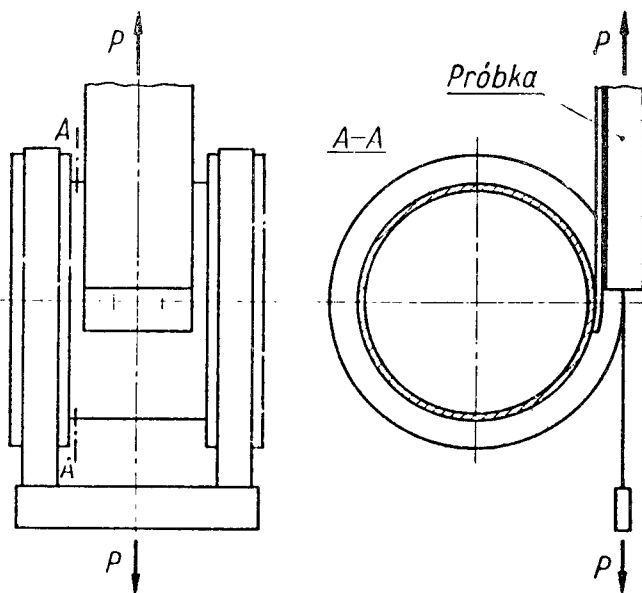
Żadna z metod przedstawionych w tabl. 2 nie odtwarza jednak w stopniu zadawalającym rzeczywistych warunków oddzierania, występujących w praktyce naprawy maszyn za pomocą tworzyw epoksydowych. Powyższe wynika z dociekań, których opis pominięto. Było to bezpośrednio przyczyną podjęcia poszukiwań nowej racjonalniejszej metody badań, w wyniku których powstała metoda nazwana "oddzieranie obwodowe", w której dość wiernie można odtworzyć te warunki.



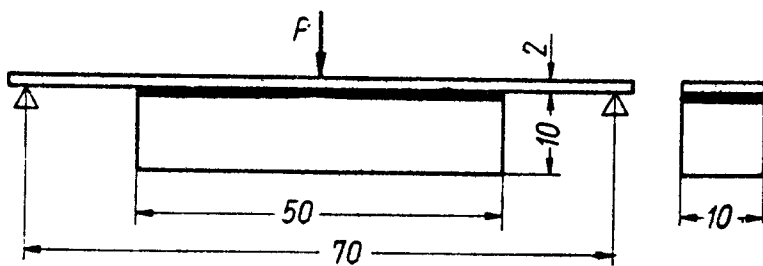
Rys. tabl. 2/1



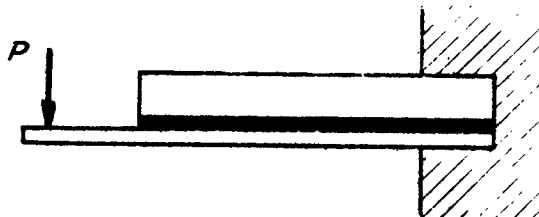
Rys. tabl. 2/2



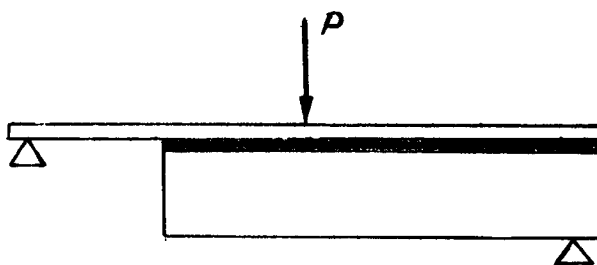
Rys. tabl. 2/3



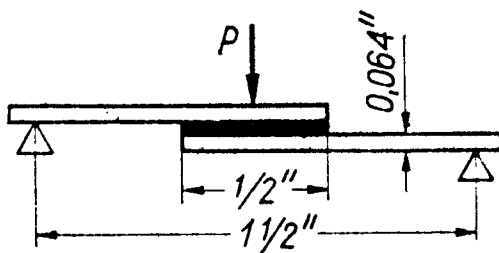
Rys. tabl. 2/4



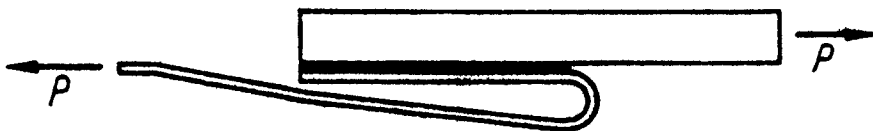
Rys. tabl. 2/5



Rys. tabl. 2/6



Rys. tabl. 2/7



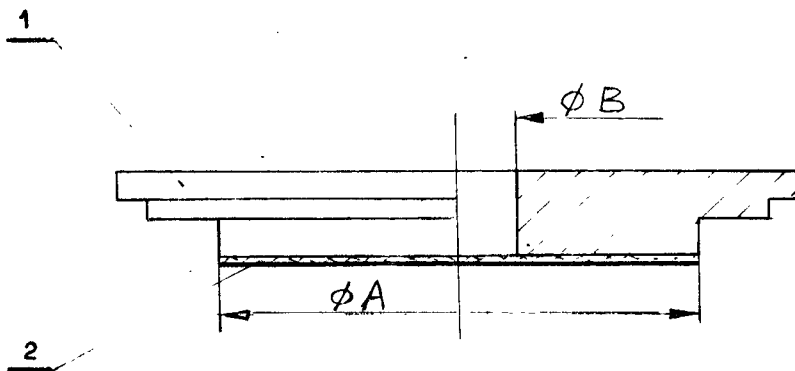
Rys. tabl. 2/8

2. 3. Metodyka i warunki badań

W dotychczasowych metodach oddzierania połączenie ulega niszczeniu postępującemu wzdłuż linii, która jest w dużym przybliżeniu prostą. W związku z tym metody te można by określić wspólnym mianem oddzierania prostoliniowego. Cechą odróżniającą oddzieranie obwodowe od oddzierania prostoliniowego jest to, że niszczenie połączenia podczas oddzierania obwodowego następuje wzdłuż linii krzywej zamkniętej, tj. po pewnym obwodzie i stąd wywodzi się nazwa. Czynnikiem wywołującym oddzieranie obwodowe może być siła skupiona lub ciśnienie płynu /cieczy lub gazu/. Oczywiście kształt próbki, przyrząd i urządzenie do przeprowadzania oddzierania będą w każdym z tych przypadków różne.

Badania, które można w pewnym stopniu traktować jako badania oddzierania obwodowego wywołanego ciśnieniem wody, opisali w zarysie J. Bärbock i G. Dallach w 1958 r. [2]. Największe możliwości praktycznego stosowania ma jednak oddzieranie obwodowe, wywołane siłą skupioną i dlatego było ono stosowane w niniejszych badaniach.

Próbka do badań oddzierania obwodowego, wywołanego siłą skupioną, składa się z dwu elementów: kołowej tarczy metalowej z współosiowym otworem kołowym i przyklejonej jednostronnie do niej nakładki z tkaniny, z tym, że nakładka może być jedno- lub wielowarstwowa. Kształt próbki pokazano na rys. 7. Istotne w procesie oddzieranie geo-



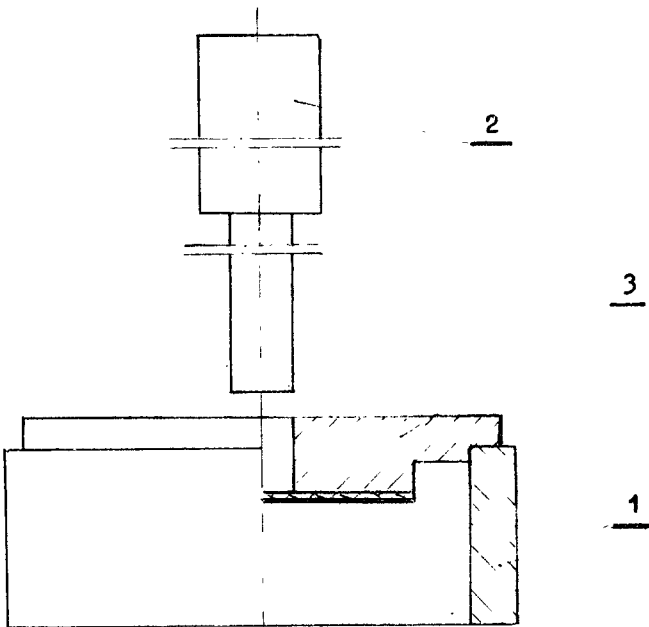
Rys. 7. Próbka do badań oddzierania obwodowego: 1-tarcza metalowa, 2-przyklejona nakładka, A i B-geometryczne wielkości charakterystyczne próbki.

metryczne wielkości charakterystyczne próbki to średnica A powierzchni roboczej /tj. powierzchni do której zostaje przyklejona tkanina/ i średnica B otworu kołowego.

Powierzchnię roboczą tarczy obrabiano za pomocą skrawania i zmywano w sposób właściwy dla przeprowadzanych badań. Po powleczeniu klejem przygotowanej powierzchni tarczy przykładano do niej tkaninę, dociskano do powierzchni tarczy i przesycono klejem. Z kolei przeprowadzano utwardzenie kleju. Po procesie utwardzenia obcinano wystające części nakładki oraz próbki oczyszczano ostrożnie z wycieków kleju w taki sposób, aby nie uszkodzić utwardzonego tworzywa. Otwór w próbce oczyszczano ze szczególną ostrożnością, np. za pomocą rozwiertaków do otworów z usuniętą /zeszlifowaną/ stożkową częścią wprowadzającą.

Do badań stosowano maszynę wytrzymałościową typu ZD10, produkcji VEB Werkstoffprüfmaschinen Leipzig NRD, o napędzie hydraulicznym z możliwością regulacji prędkości posuwu uchwytu i wyposażoną w urządzenie rejestrujące przebieg oddzierania. Zakres pomiarowy siłomierza maszyny wynosił 0 ± 1000 kG.

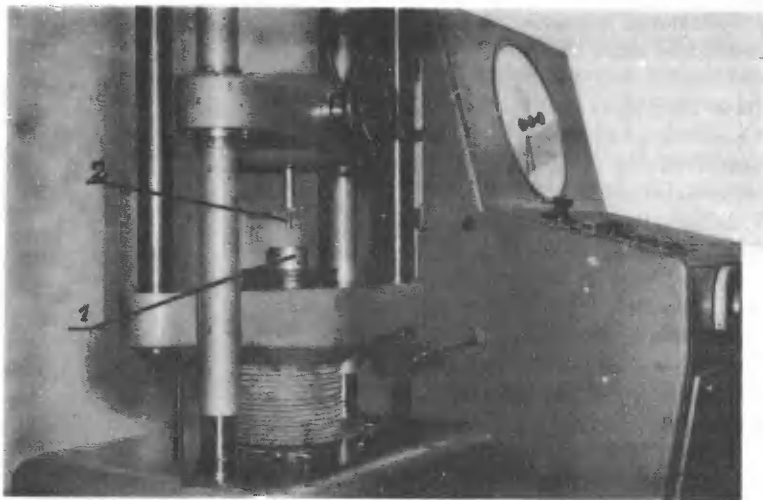
Oddzieranie przeprowadzano w przyrządach, które składały się z pierścieni oporowych i trzpień oddzierających. Przyrząd pokazano na rys. 8. Zarówno tarcze, pierścienie jak i trzpień wykonywane były ze



Rys. 8. Przyrząd do badań oddzierania obwodowego: 1-pierścień oporowy, 2-trzpień oddzierający, 3-próbka.

stali St5 według atestu zgodnej z PN-51/H-84020.

W celu przeprowadzania oddzierania obwodowego próbkę umieszczano na pierścieniu oporowym a trzpień oddzierający mocowano w uchwycie maszyny wytrzymałościowej /rys. 9/. Następnie doprowa -



Rys. 9. Maszyna wytrzymałościowa z zamocowanym przyrządem do badań oddzierania obwodowego: 1-pierścień oporowy z próbką, 2 - trzpień oddzierający.

dzano do umieszczenia końca trzpienia w otworze próbki i wywierano nań stopniowo siłę w sposób ciągły przy określonej prędkości posuwu uchwytu, aż do oddarcia nakładki z powierzchni próbki.

Jako dane liczbowe określające wynik oddzierania przyjmować można wskaźnik nazwany umownie "wytrzymałość na oddzieranie obwodowe" względnie wskaźnik nazwany "odporność na oddzieranie obwodowe". Za wytrzymałość na oddzieranie obwodowe przyjęto iloraz maksymalnej siły oddzierającej przyklejoną nakładkę i powierzchni otworu próbki lub iloraz maksymalnej siły oddzierającej i obwodu otworu próbki, natomiast jako odporność na oddzieranie obwodowe - maksymalną siłę oddzierającą przyklejoną nakładkę. Wytrzymałość na oddzieranie obwodowe przyjęto oznaczać odpowiednio symbolem R_{np} i R_{no} , natomiast odporność na oddzieranie obwodowe oznaczono symbolem R_n . Wystarczająco dokładne i umożliwiające przeprowadzanie szczegółowych analiz, jak również wygodne, okazało się stosowanie odporności na oddzieranie obwodowe i dlatego było ono przede wszystkim używane w niniejszych badaniach.

Oddzieranie obwodowe /podobnie jak inne metody oddzierania/charakteryzuje się stosunkowo dużym rozrzutem wyników poszczególnych prób, co zostanie udokumentowane w dalszej części pracy. W związku z tym nieodzownym jest odpowiednie matematyczne opracowywanie wyników. Parametrami określającymi jednoznacznie położenie i kształt rozkładu wyników poszczególnych prób są: wartość średnia /wartość oczekiwana/ i odchylenie średnie /odchylenie standartowe, dyspersja/ [14]. Za wynik przyjęto więc średnią arytmetyczną /estymator wartości średniej/, którą obliczano z co najmniej 10 wykonanych prób. Liczba prób wynika z przyjętego 98-procentowego przydziału ufności /tzn. z przedziału o współczynniku ufności 0, 98/. W celu oszacowania rozrzutu otrzymanych wyników obliczano ocenę odchylenia średniego s według wzoru

$$\bar{s} = \sqrt{\frac{\sum (R'_n - \bar{R}_n)^2}{n - 1}} \quad /2/$$

gdzie:

- R'_n - wyniki poszczególnych prób,
 \bar{R}_n - średnia arytmetyczna wyników prób,
 n - ilość wykonanych prób,

i ocenę rozrzutu zapisywano w postaci ułamka

$$\frac{\bar{R}_n \pm s}{R_{n \max} - R_{n \min}} \quad /3/$$

gdzie:

- $R_{n \max}$ - maksymalny wynik prób,
 $R_{n \min}$ - minimalny wynik prób.

.

.

Trzeba jeszcze odnotować, że w procesach J. Bärbocka i G. Dal-lacha [2] oraz Z. Zaczka [116, 123] podano metody badań połączeń klejowych: metal-epoksydowy laminat szklany, w pewnym stopniu podobne do metody opisanej w normie PN-69/C-89300 /tabl. 2/. W czasie badań przeprowadzanych tymi metodami, występuje złożony stan naprężeń w nakładce, która ulega zniszczeniu w czasie prób, zwykle częściowo przez rozciąganie i częściowo przez ścinanie, co powoduje trudności we właściwej interpretacji wyników. Metody nie odtwarzają cha-

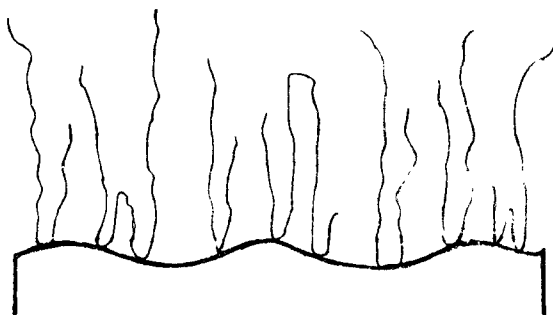
rakterystycznych, najbardziej niepożądanych naprężeń w nakładce, występujących podczas pracy elementów epoksydowych przedmiotów na prawionych. Czynnikiem wywołującym zniszczenie próbki nie może być ciśnienie płynu. Poza tym metody są dość trudne w praktycznym przeprowadzaniu.

2.4. Istota złącza: tworzywo epoksydowe - materiał klasyczny

W celu poprawniejszego przeprowadzania badań oddzierania obwodowego i trafniejszego formułowania wniosków, ważne jest poznanie mechanizmu powstawania złącza tworzywa epoksydowego z materiałem klasycznym oraz poznanie struktury tworzywa i budowy złącza. Zostanie to w zarysie przedstawione poniżej. Warto dodać, że w dostępnej literaturze brak jest jednoznacznego poglądu w tym zakresie i że niektóre zagadnienia są jeszcze niecałkowicie wyjaśnione.

W czasie zwilżania nieutwardzonym tworzywem epoksydowym, w stanie cieczy lub pasty, uprzednio przygotowanej powierzchni materiału, cząsteczki tworzywa adsorbowane są przez tę powierzchnię. Wiadomo ogólnie, że nawet najstaranniej przygotowana powierzchnia pokryta jest niepożądanymi cząstkami ośrodka, jak np. pył /kurz/ i woda. Poza tym zawsze znajduje się na niej warstewka powietrza. Substancje te oraz powietrze utrzymywane są na powierzchni przez adsorpcję. W ten sposób pole sił powierzchni materiału zostaje zastąpione słabszym polem warstewki adsorpcyjnej. Tworzywo epoksydowe w czasie zwilżania najprawdopodobniej częściowo usuwa i rozpuszcza tę warstewkę, jak również częściowo do niej przylega. Ze względu na nierówności powierzchni materiału, różnice w napięciu powierzchniowym i inne czynniki, tworzywo epoksydowe nie zwilża powierzchni całkowicie, a tylko częściowo. Dąży się oczywiście do tego, aby powierzchnia zwilżana była stosunkowo duża. Aby więc mogła istnieć silna adhezja między tworzywem a materiałem, powierzchnia materiału powinna być w największym stopniu wolna od warstewki adsorpcyjnej, co warunkuje silną adhezję specyficzną /przyczepność właściwą/ oraz powinna mieć optymalny kształt i wysokość nierówności, co jest podstawowym warunkiem silnej adhezji mechanicznej /przyczepności mechanicznej/. Rola tej ostatniej adhezji jest jednak mała, często znikoma.

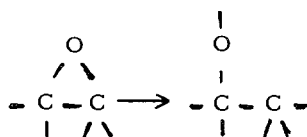
Ponieważ do powierzchni adsorbuje się znacznie większą ilość tworzywa epoksydowego, które ma charakter polarny, niż tego wymaga utworzenie monomolekularnej warstwy cząsteczek, cząsteczki tworzywa wiązane są z powierzchnią tylko w pewnych miejscach łańcuchów, a pozostałe ich odcinki umieszczone są /sterczą/ nad powierzchnią. Przedstawiono to schematycznie na rys. 10. Występuje tu zatem orientacja cząsteczek.



Rys. 10. Schematyczne przedstawienie adsorpcji cząsteczek tworzywa epoksydowego do powierzchni ciała stałego.

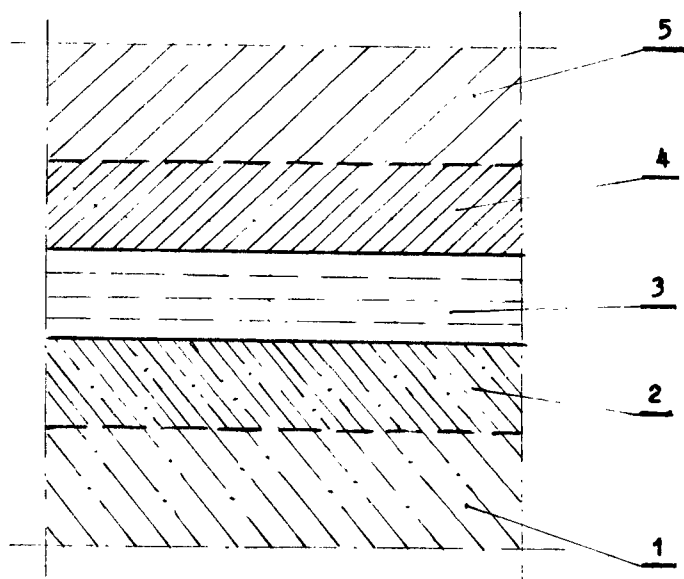
Adsorbowane cząsteczki tworzywa epoksydowego zachowują reaktywność /na skutek zmieszania żywicy z utwardzaczem/ i w wyniku procesu sieciowania tworzą przestrzenny układ wiązań. Podczas sieciowania maleje stopniowo zawartość grup epoksydowych oraz ulegają zmianie własności fizykochemiczne, mechaniczne, dielektryczne i inne tworzywa. Wzrasta lepkość i następuje żelowanie tworzywa, z kolei tworzywo przechodzi w stan stały, uzyskując przez to podstawową własność użytkową, tj. kohezję /spoiistość/. Utwardzone tworzywo zawiera celowo regulowaną różną strukturę i gęstość oczek, z czym bezpośrednio są związane jego własności. Gęste przestrzenne sieciowanie powoduje twardość, kruchość, nierozpuszczalność i nietopliwość oraz małą podatność na pęcznienie, natomiast rzadkie wiązania przestrzenne czynią tworzywo skłonny do odkształceń. Wreszcie sieciowanie poprzeczne cząsteczek liniowych powoduje dużą wytrzymałość wzdłuż osi cząsteczek, odkształcalność, zmniejsza rozpuszczalność, ograniczając ją do pęcznienia, zwiększa topliwłość tworzywa.

Reakcja sieciowania /utwardzania/ jest egzotermiczna i ma charakter poliaddycji, polegającej na otwarciu trójkątnego pierścienia, składającego się z dwóch atomów węgla i jednego atomu tlenu, który tworzy mostki do cząsteczek sąsiednich [48].



Złącza tworzyw epoksydowych z innymi materiałami mają budowę anizotropową. Model złącza składa się z kilku stref, różniących się składem fizykochemicznym lub strukturą, albo też jednym i drugim. Wy-

daje się, iż można wyróżnić pięć stref złącza, a mianowicie: kohezyjną strefę utwardzonego tworzywa epoksydowego /1/, przypowierzchniową strefę utwardzonego tworzywa /2/, strefę graniczną /3/, przypowierzchniową strefę materiału łączonego /4/ i kohezyjną strefę materiału /5/ - rys. 11. Strefa pierwsza i ostatnia tworzą rdzenie/trzony/ tworzywa epoksydowego i materiału łączonego.



Rys. 11. Model złącza: 1-kohezyjna strefa utwardzonego tworzywa epoksydowego /rdzeń-trzon tworzywa/, 2-przypowierzchniowa strefa utwardzonego tworzywa, 3-strefa graniczna, 4-przypowierzchniowa strefa materiału łączonego, 5-kohezyjna strefa materiału /rdzeń-trzon materiału/.

Rdzeń utwardzonego tworzywa epoksydowego ma strukturę zależną przede wszystkim od rodzaju żywicy, utwardzacza, rozcieńczalnika oraz innych dodatków do tworzywa, jak również od warunków utwardzania. Najczęściej występuje tu struktura przestrzennego usieciowania z różną, celowo regulowaną gęstością oczek. Struktura przypowierzchniowej strefy utwardzonego tworzywa zależy od tych samych czynników oraz dodatkowo od oddziaływania materiału łączonego. Typową jest w tym przypadku struktura usieciowanych poprzecznie, zorientowanych prostopadle do powierzchni materiału, cząsteczek liniowych. Strefa graniczna obejmuje głównie strefę przypowierzchniową warstwy wierzchniej materiału, a w szczególności związki chemiczne o bardzo dużej przyczepności do podłoża /jeżeli zostaną one uprzednio celowo wytworzone/ oraz warstewkę adsorpcyjną. Struktura przypowierzchniowej

strefy materiału jest w przypadku metali krystaliczna, ma zgniecione ziarna i jest steksturowana wskutek obróbki mechanicznej. Rdzeń /trzon/ w przypadku metali ma strukturę krystaliczną. Szczegółowa analiza prowadzi do dalszego podziału wymienionych stref, zwłaszcza strefy granicznej.

Granice poszczególnych stref nie są wyraźne, strefy mogą się wzajemnie przenikać, jedna strefa przechodzi w następną w sposób ciągły. O wytrzymałości złącza decyduje oczywiście naj słabsza z nich, o odporności chemicznej - odporność strefy o najmniejszej odporności, o odporności termicznej - odporność strefy najmniej odpornej itp.

2. 5. Badania procesu oddzierania obwodowego

Ponieważ oddzieranie obwodowe jest metodą nową, zamierzono najpierw poznać nieco bliżej sam proces oddzierania obwodowego. Wykorzystywano przy tym wyniki badań wstępnych nie przytaczanych w niniejszej pracy [83], które dały ogólne rozeznanie istoty i przebiegu procesu oraz wskazały jego cechy charakterystyczne. Badania doświadczalne i rozważania teoretyczne postanowiono przeprowadzić m. in. tak, aby można było podać podstawy do znormalizowania procesu, tzn. aby można było ująć proces w postaci obowiązującego dokumentu normalizacyjnego^{x/}. Umożliwi to szerokie praktyczne stosowanie tej metody badań połączeń.

2. 5. 1. Badania rozpoznawcze

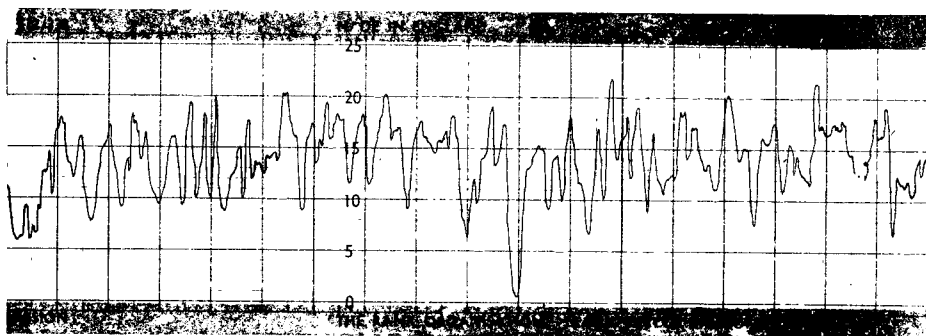
Przy przygotowywaniu próbek do badań oddzierania obwodowego powierzchnię roboczą tarczy próbki powleka się nieutwardzonym tworzywem epoksydowym, spełniającym rolę kleju. Istotną sprawą jest ilość nanoszonego tworzywa. Zbyt mała ilość w odniesieniu do jednostki powierzchni stwarza możliwość nieodpowiedniego zwilżenia powierzchni tarczy i tkaniny oraz możliwość niecałkowitego przesycenia tkaniny klejem, natomiast za duża ilość powoduje wycieki tworzywa oraz trudności w dobrym dociśnięciu tkaniny do powierzchni.

Ilość nanoszonego tworzywa zależy przede wszystkim od rodzaju użytej tkaniny, struktury geometrycznej powierzchni roboczej tarczy, a zwłaszcza jej chropowatości i lepkości tworzywa. Optymalną ilość dobiera się w prosty sposób doświadczalnie w zależności od wymienionych czynników, bowiem próby doboru analitycznego prowadzą do skomplikowanych zależności obecnie niemożliwych do stosowania z braku po-

^{x/} Do celów praktyki metoda oddzierania obwodowego została w roku 1968 ujęta w postaci normy zakładowej ZN-68/015 [83]. Normę opracowano głównie na podstawie przedstawionych niżej badań.

trzebnych danych liczbowych i mało przydatnych do innych rozważań teoretycznych. Przykładowo, dla tkanin szklanych oznaczonych skrótowo symbolem ST21, ST31 i ST33 grubość warstwy nanoszonego kleju zawiera się najczęściej, jak wynika z pomiarów, w granicach $0,5 \pm 0,8$ mm.

Opisane niżej badania oddzierania obwodowego przeprowadzono przy użyciu tarcz, których powierzchnie robocze przygotowywano za pomocą szlifowania na szlifierce do płaszczyzn, następnie chropowa - cono papierem ściernym, otrzymując 7 klasę chropowatości według PN-58/M-04251 i dwukrotnie zmywano w czystym trójchloroetylenie według atestu zgodnym z BN-65/6191-32. Pozostałość substancji obcych po odparowaniu trójchloroetyleny jest prawie równa zero. Przykład profilogramu powierzchni roboczej tarczy przygotowanej do powlekania klejem pokazano na rys. 12.



Rys. 12. Fragment profilogramu powierzchni roboczej tarczy przygotowanej do powlekania klejem, wykonanego na profilografom - trze Talysurf 4 firmy Taylor-Hobson, powiększenie pionowe 5000X, poziome 100X.

Wyniki oddzierania obwodowego, szczególnie ilościowe, zależą w dużym stopniu od wymiarów tarczy. Zasadnicze znaczenie mają tu wielkości charakterystyczne tarczy, tj. średnica A powierzchni roboczej i średnica B otworu /rys. 7/. Aby znaleźć zalecane średnice A i B przeprowadzono odpowiednie badania oddzierania obwodowego. W badaniach tych wymiary A i B zmieniano zgodnie z tabl. 3. Stosowano żywicę epoksydową podstawową o nazwie handlowej Epidian 5, zmieszaną z powszechnie stosowanym utwardzaczem trójetylenoczeroaminową o nazwie handlowej Z-1 w stosunku mas jak 9:1 /jest to tzw. stosunek masowy/ oraz tkaninę szklaną ST31, tworząc nakładki jednowarstwowe, utwardzanie przeprowadzano w czasie 240 godzin w temperaturze $20 \pm 2^\circ\text{C}$, oddzieranie wykonywano w tej samej temperaturze z pręđ -

Tablica 3

Wielkości charakterystyczne A i B tarcz próbek używanych do badań oddzierania obwodowego

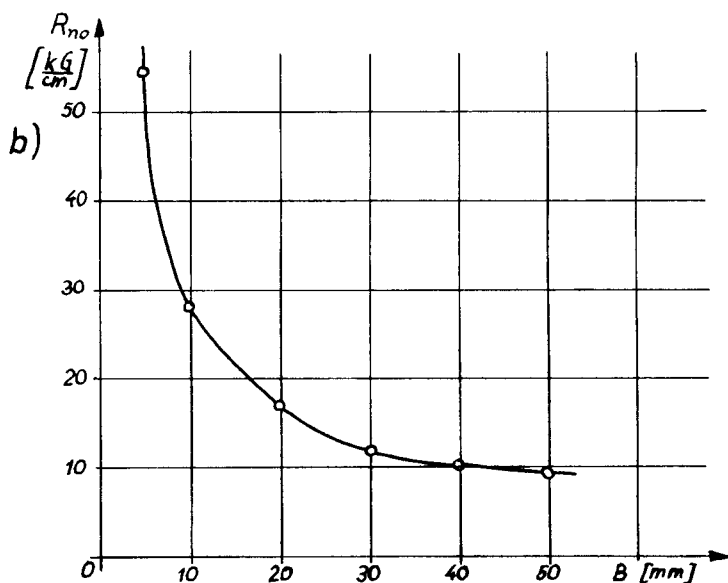
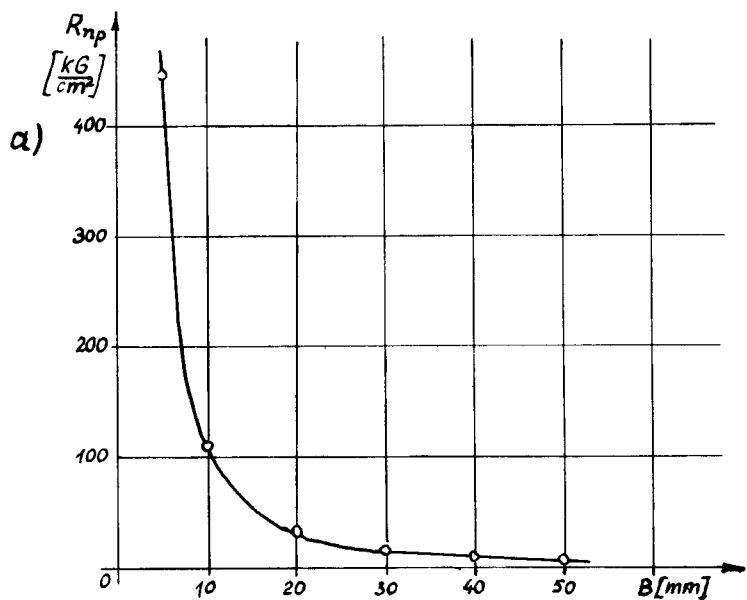
A w mm	45	50	60	70	80	90
B w mm	5	10	20	30	40	50

kością posuwu uchwytu maszyny wytrzymałościowej wynoszącą 30 mm/min. Tkaninę dociskano i przesycano przez lekkie pionowe uderzenie o jej powierzchnię młoteczką z twardej gumy. Na rys. 13a, b i rys. 14 przedstawiono otrzymane wyniki wytrzymałości i odporności na oddzieranie obwodowe.

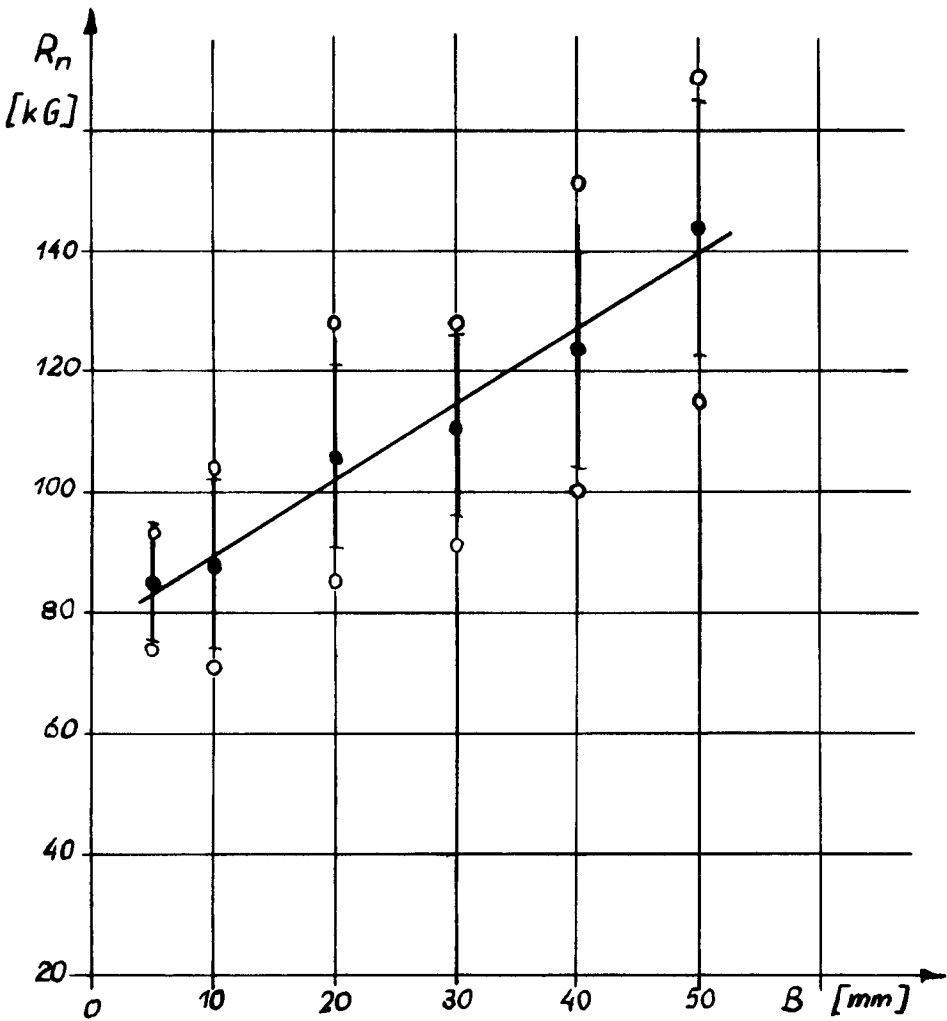
Z rysunków widać m. in., że ze wzrostem średnicy B, która jest związana ze średnicą A, maleje monotonicznie wytrzymałość na oddzieranie obwodowe R_{np} i R_{no} , a rośnie w przybliżeniu wprost proporcjonalnie odporność na oddzieranie obwodowe R_n . Dla małych wartości B przyrosty R_{np} i R_{no} są bardzo duże, natomiast dla większych wartości B przyrosty te są bardzo małe. To ostatnie świadczy o niepożądanym małej czułości metody w tym przypadku. Przyrosty R_n są w przybliżeniu jednakowe dla wszystkich wartości B, zatem czułość metody nie ulega zasadniczej zmianie. Przebieg wykresów potwierdza stwierdzenie podane w p. 2.3., że korzystniejsze jest stosowanie w badaniach oddzierania obwodowego, odporności na oddzieranie obwodowe R_n .

W celu ustalenia wymiarów tarczy i związanych z tym wymiarów trzpienia oddzierającego oraz pierścienia oporowego, wzięto pod uwagę otrzymane wyniki badań oddzierania obwodowego, jak również węzły wytrzymałościowe i sztywność tarczy, trzpienia oraz pierścienia. Uwzględniono też sprawy wykonawcze i możliwości techniczne przeciętnie spotykanych w laboratoriach nowoczesnych maszyn wytrzymałościowych. Przyjęte wymiary pokazano na rys. 15. Tarcza i przyrząd, pokazane na rys. 15, były stosowane do dalszych badań.

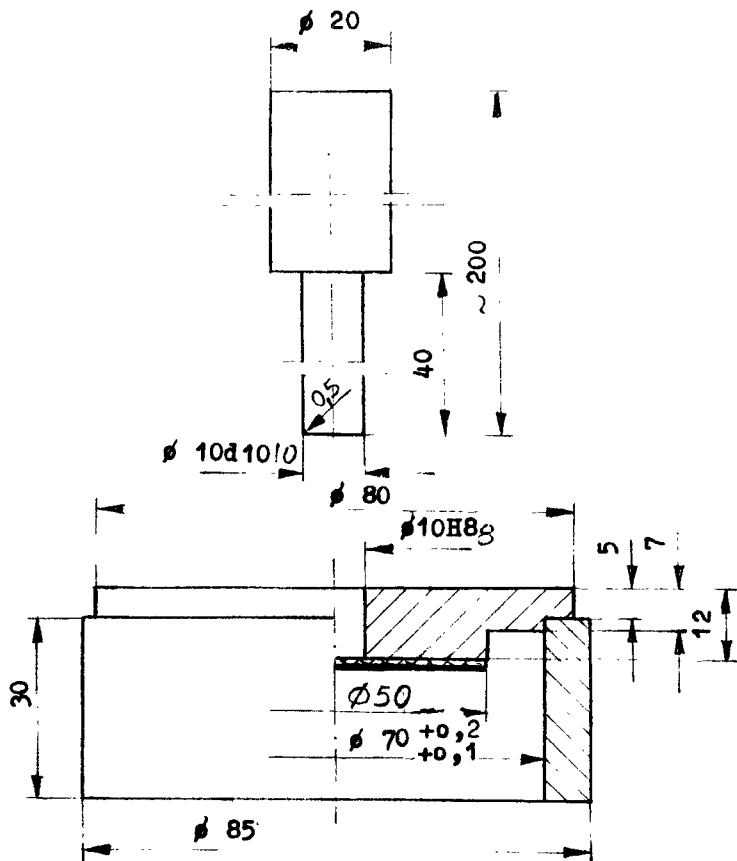
Jak wiadomo, w procesie oddzierania trzpień oddzierający poddaje się stopniowemu i ciągłemu działaniu siły przy określonej prędkości posuwu uchwytu maszyny wytrzymałościowej. Prędkość posuwu uchwytu przyjęto nazywać umownie prędkością oddzierania. Aby poznać wpływ prędkości oddzierania na odporność na oddzieranie obwodowe nakładki jednowarstwowej, przeprowadzono odpowiednie badania. Założono następujące prędkości oddzierania: 5; 8,5; 30; 138; 360 i 480 mm/min. Zakres prędkości oddzierania wynikał przede wszystkim z możliwości technicznych stosowanej do badań maszyny wytrzymałościowej.



Rys. 13. Wytrzymałość na oddzieranie obwodowe: a/ R_{np} - jako iloraz maksymalnej siły oddzierającej i powierzchni otworu w tarczy próbki, b/ R_{no} - jako iloraz maksymalnej siły oddzierającej i obwodu tarczy, w zależności od średnicy B otworu tarczy próbki. Ze względów rysunkowych nie zaznaczono odchyżeń średnich oraz maksymalnych i minimalnych wyników prób.



Rys. 14. Odporność na oddzieranie obwodowe R_n w zależności od średnicy B otworu w tarczy próbki: o-oznacza średnie arytmetyczne, o-maksymalne i minimalne wyniki prób, odcinki z obu stron średniej arytmetycznej oznaczają odchylenia średnie.



Rys. 15. Kształt i wymiary tańcy oraz przyrządu używanych do badań oddzierania obwodowego.

wej. Badania przeprowadzono przy użyciu próbek sklejonych dwoma rodzajami kleju epoksydowego, różniącymi się głównie współczynnikiem sprężystości po utwardzeniu: kleju składającego się z żywicy epoksydowej Epidian 5 i utwardzacza Z-1 zmieszanych ze sobą w stosunku masowym 9:1 /klej o dużym współczynnikiem sprężystości/ oraz kleju składającego się z żywicy Epidian 5 i utwardzacza poliaminoamidu C o nazwie handlowej PAC, zmieszanych ze sobą w stosunku masowym 1:1 /klej o mniejszym współczynnikiem sprężystości/. Warunki wykonania nakładki, utwardzania i oddzierania były takie same jak w badaniach poprzednio opisanych.

Analiza otrzymanych wyników, zamieszczonych w tabl. 4 i tabl. 5, prowadzi do stwierdzenia, iż w zakresie zbadanych prędkości oddzierania,

Tablica 4

Wyniki badań zależności odporności na oddzieranie obwodowe od prędkości oddzierania, dla mieszaniny żywicy Epidian 5 i utwardzacza Z-1

Prędkość oddzierania [mm/min]	Średnia arytmetyczna \bar{R}_n [kG]	Odchylenie średnie s [kG]	Maksymalny wynik $R_n \max$ [kG]	Minimalny wynik $R_n \min$ [kG]	$R_n \pm s$
					$R_n \max - R_n \min$
5	91,0	12,1	102	75	$91,0 \pm 12,1$ $\frac{102-75}{}$
8,5	94,9	14,3	115	78	$94,9 \pm 14,3$ $\frac{115-78}{}$
30	90,2	19,8	113	66	$90,2 \pm 19,8$ $\frac{113-66}{}$
138	87,5	13,1	99	65	$87,5 \pm 13,1$ $\frac{99-65}{}$
360	86,4	14,5	105	67	$86,4 \pm 14,5$ $\frac{105-67}{}$
480	80,2	16,3	94	60	$80,2 \pm 16,3$ $\frac{94-60}{}$

wpływ prędkości oddzierania na odporność na oddzieranie obwodowe jest bardzo mały. Zauważono nieznaczne zmniejszanie się odporności na oddzieranie obwodowe ze wzrostem prędkości oddzierania dla kleju pierwszego rodzaju oraz nieznaczne zwiększenie się odporności na oddzieranie obwodowe ze wzrostem prędkości oddzierania dla kleju drugiego rodzaju. Do zagadnienia tego powróci się jeszcze w u. 2.6.4.

Dla dalszych badań przyjęto prędkość oddzierania wynoszącą 30 mm/min. Prędkość ta stosowana jest też w niektórych innych metodach oddzierania.

Tablica 5

Wyniki badań zależności odporności na oddzieranie obwodowe od prędkości oddzierania, dla mieszaniny żywicy Epidian 5 i utwardzacza PAC

Prędkość oddzierania [mm/min]	Średnia arytmetyczna \bar{R}_n [kG]	Odchylenie średnie s [kG]	Maksymalny wynik $R_{n \max}$ [kG]	Minimalny wynik $R_{n \min}$ [kG]	$\bar{R}_n \pm s$
					$R_{n \max} - R_{n \min}$
5	101,3	13,4	114	84	$101,3 \pm 13,4$ 114-84
8,5	97,1	18,2	115	80	$97,1 \pm 18,2$ 115-80
30	104,8	15,3	121	81	$104,8 \pm 15,3$ 121-81
138	115,2	11,7	127	97	$115,2 \pm 11,7$ 127-97
360	110,5	17,1	129	90	$110,5 \pm 17,1$ 129-90
430	112,4	16,9	133	94	$112,4 \pm 16,9$ 133-94

W celu lepszego zorientowania się co do wartości rozrzutu wyników poszczególnych prób odporności na oddzieranie obwodowe nakładki jednowarstwowej, sklejono dodatkowo 15 próbek klejem składającym się z żywicy epoksydowej Epidian 57 i utwardzacza Z-1 zmieszanych ze sobą w stosunku masowym 10:1 oraz 15 próbek klejem składającym się z żywicy Epidian 57 i utwardzacza PAC zmieszanych ze sobą w stosunku masowym 1:1. Tkaninę szklaną ST31 dociskano i przesyłano przez położenie na jej powierzchni płaskiego krążka stalowego o średnicy 65 mm i wysokości 15 mm ogrzanego do temperatury 35°C na czas 0,5 min. Warunki utwardzania i oddzierania były takie same jak w badaniach wyżej opisanych.

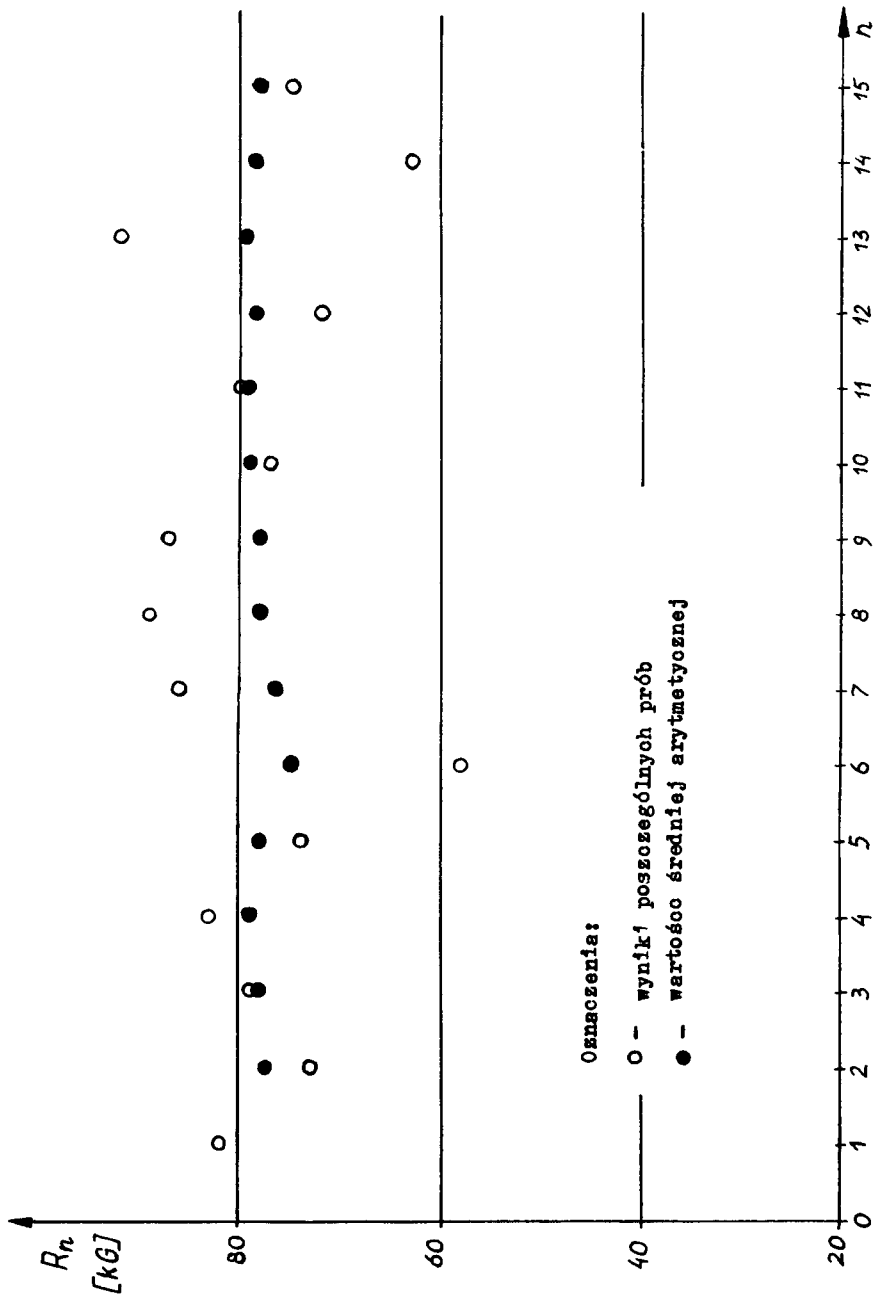
Wyniki oddzierania obwodowego pierwszej serii próbek przedstawiono na rys. 16. Najmniejsza wartość odporności na oddzieranie obwodowe wynosiła w tym przypadku 58 kG a największa 92 kG, ocenę odchylenia średniego, jak też ocenę rozrzutu obliczono zgodnie z zależnościami /2/ oraz /3/ i zestawiono w tabl. 6. Stwierdzono, że wartości liczbowe otrzymane dla drugiej serii próbek są na ogół nieco większe. Średnie arytmetyczne i oceny odchylenia średniego mają ten sam rząd wielkości, w związku z czym pominięto szczegółowe ich podawanie.

Przeprowadzone badania potwierdzają zatem spodziewany, charakterystyczny duży rozrzut wyników poszczególnych prób /przyczyny rozrzutu zostaną podane w p. 2. 7/ i konieczność odpowiedniego matematycznego opracowywania wyników badań /p. 2. 3/.

2. 5. 2. Uwagi o istocie i mechanizmie procesu oddzierania obwodowego

Istota i mechanizm procesu oddzierania obwodowego są dość złożone. Dokładniejsze poznanie ich wymaga oddzielnych, szczegółowych badań, wykraczających poza zakres tej pracy. W związku z tym poniżej zostaną podane tylko uwagi o istocie i mechanizmie tego procesu, które mogą być pomocne przy prowadzeniu dalszych badań i wysuwaniu wniosków.

Powierzchnia włókien szklanych, z których wykonane są tkaniny i maty szklane używane do nakładek, wykazuje charakter polarny, co umożliwia silną adhezję do niej polarnych żywic epoksydowych. Warunkiem wystąpienia adhezji jest zwilżanie włókien szklanych ciełym tworzywem epoksydowym. Niestety włókna nie zostają całkowicie zwilżane, co wynika przede wszystkim z dużego napięcia powierzchniowego szkła i roli preparacji /aparatury/ włókien szklanych. Ogólnie wiadomo, że preparacja może być włókiennicza nie wiążąca się chemicznie z tworzywem epoksydowym oraz chemicznie czynna. W literaturze istnieje pogląd, że preparacje chemicznie czynne stanowią warstwę pomostową wiążącą się zarówno ze szkłem, jak i tworzywem, wiązaniami chemicznymi, których intensywność zależy głównie od rodzaju powierzchni szkła, budowy chemicznej związków czynnych w preparacji oraz od typu użytej żywicy i utwardzacza. Zatem w materiale nakładki, składającym się z utwardzonej żywicy epoksydowej i włókien szklanych, są pęcherzyki /pory/ w ilości kilku procent objętości materiału, umieszczone dokoła włókien i znajdujące się między nimi. Poza tym w czasie mieszania żywicy z utwardzaczem, zostają w sposób niezamierzony wprowadzone pęcherzyki powietrza do mieszaniny. Część z pęcherzyków pozostaje w warstwie tworzywa, którą powleka się powierzchnię roboczą próbki lub powierzchnię tkaniny. Porowatość nakładki, potwierdzona obserwacjami mikroskopowymi przekrojów, jest bardzo



Rys. 16. Zależność odporności na oddziaływanie obwodowe R_n od liczby wykonanych prób n oddziaływanie obwodowe.

Tablica 6

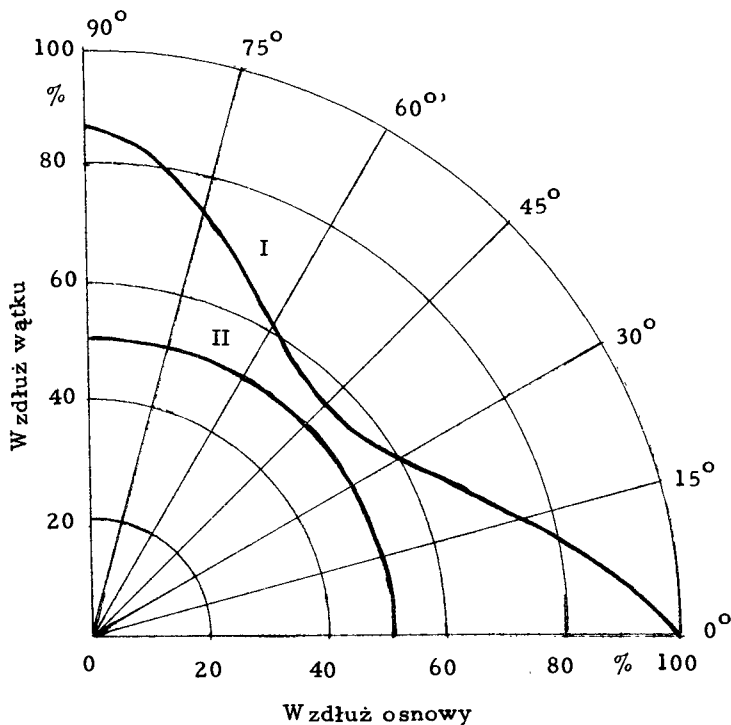
Wyniki oddzierania obwodowego
przeprowadzonego w jednakowych warunkach

Liczba wykona- nych prób n	Średnia arytme- tyczna \bar{R}_n [kG]	Odchyle- nie średnie s [kG]	Maksy- malny wynik $R_{n \max}$ [kG]	Mini- malny wynik $R_{n \min}$ [kG]	$\bar{R}_n \pm s$
					$R_{n \max} - R_{n \min}$
3	78,0	4,6	82	73	$78,0 \pm 4,6$ 82-73
5	78,2	4,5	83	73	$78,2 \pm 4,5$ 83-73
7	76,4	9,4	86	58	$76,4 \pm 9,4$ 86-58
10	78,8	9,2	89	58	$78,8 \pm 9,2$ 89-58
15	78,0	9,4	92	58	$78,0 \pm 9,4$ 92-58

ważną cechą użytkową, wpływającą m. in. na wytrzymałość nakładki i jej nasiąkliwość.

Własności nakładki zależą w dużym stopniu od użytej tkaniny lub maty szklanej. Na przykład można stwierdzić na podstawie wiadomości z literatury dotyczących własności laminatów /nakładka wielowarstwowa jest laminatem/, że na ogół wytrzymałości na rozciąganie, zginanie i ściskanie są większe dla laminatów z tkanin o małym ciężarze /tzw. gramaturze/, luźno tkanych z niedużą ilością skrzyżowań włókien, niż dla laminatów z tkanin ciężkich, gęsto tkanych i silnie splecionych. Z teorii laminatów wynika, że istnieje optymalna ze względu na wytrzymałość zawartość szkła w laminacie, jednak w praktyce wykonywania nakładek w celach naprawczych, należy się spodziewać wzrostu wytrzymałości nakładki ze wzrostem zawartości szkła. Nie można bowiem osiągnąć większej zawartości szkła w nakładce niż około 50 %, co jest poniżej wartości optymalnej. Jak wiadomo, tkaniny

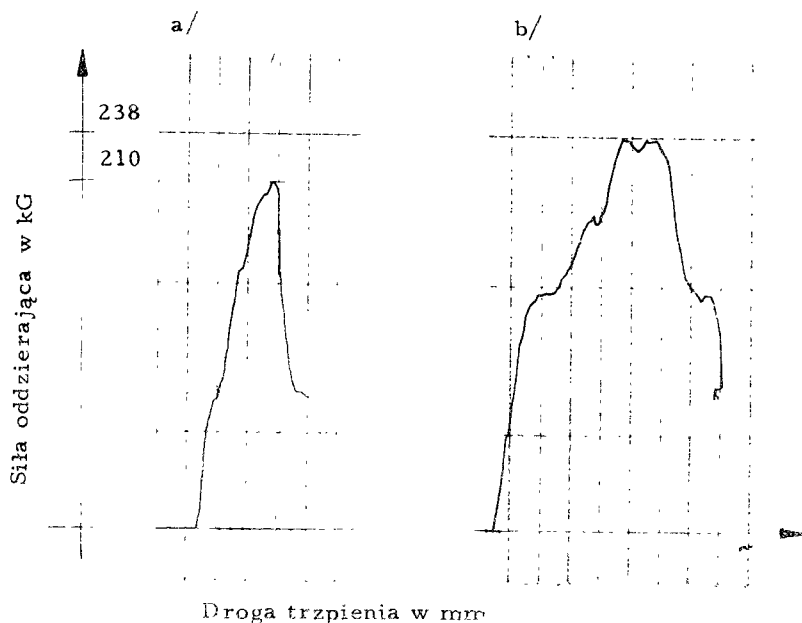
mają własności wybitnie anizotropowe, np. wykazują największą wytrzymałość w kierunku osnowy i wątku, a najmniejszą pod kątem 45° do tych kierunków. Wobec tego tkaniny nadają nakładkom własności anizotropowe w płaszczyźnie, co przedstawiono poglądowo na rys. 17. Maty w przeciwieństwie do tkanin, powodują powstawanie nakładek o mniejszej zawartości szkła, a więc słabszych mechanicznie, jednak o własnościach izotropowych w płaszczyźnie /rys. 17/.



Rys. 17. Przykład własności wytrzymałościowych nakładki z: I- tkaniny szklanej, II- maty szklanej.

W procesie oddzierania obwodowego występują jednocześnie współzależności między utwardzoną żywicą epoksydową i włóknem szklanym oraz między utwardzoną żywicą i materiałem tarczy próbki.

Aby bliżej poznać przebieg procesu oddzierania obwodowego, rejestrowano przebieg oddzierania w formie wykresów siły oddzierającej w funkcji drogi trzpienia. Na rys. 18 pokazano przykładowo dwa charakterystyczne wykresy otrzymane bezpośrednio z maszyny wytrzymałościowej dla nakładek trójwarstwowych. Wykresy otrzymano przy zastosowaniu mieszaniny żywicy Epidian 5 i utwardzacza Z-1 oraz Epi -



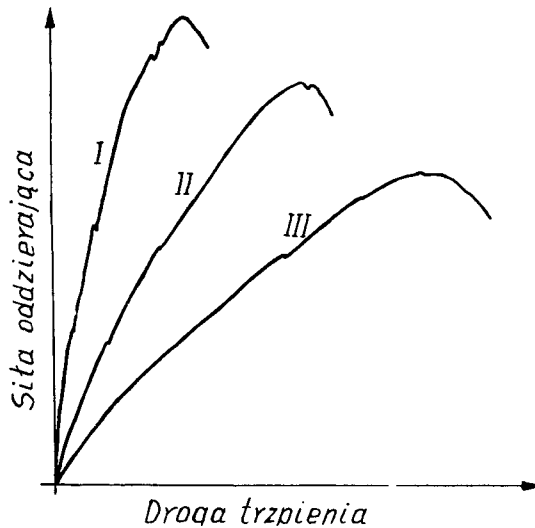
Rys. 18. Wykres zależności siły oddzierającej w funkcji drogi trzpienia oddzierającego otrzymany bezpośrednio z maszyny wytrzymałościowej /skala 1:1/: a/ dla mieszaniny żywicy Epidian 5 i utwardzacza Z-1 zmieszanych ze sobą w stosunku 9:1, b/ dla mieszaniny żywicy Epidian 57 i utwardzacza PAC zmieszanych ze sobą w stosunku 1:1.

dian 57 i utwardzacza PAC, zmieszanych ze sobą w stosunku mas odpowiednio jak 9:1 i 1:1 oraz przy stosowaniu tkaniny szklanej ST38, którą dociskano i przesycano przez lekkie pionowe uderzenie o jej powierzchnię pędzlem o krótkim włosiu. Utwardzanie przeprowadzono przy temperaturze $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ w czasie 240 godzin, oddzieranie wykonywano w tej samej temperaturze.

Na wszystkich otrzymanych wykresach, jak również na pokazanych na rys. 18, siła oddzierająca rośnie wraz z drogą trzpienia, osiągając wartość maksymalną, następnie intensywnie maleje. Przetoczenie maksymalnej siły oddzierającej nie przedstawia żadnych trudności. Część rosnąca zależności odpowiada niszczeniu próbki postępującemu po obwodzie na płaszczyźnie roboczej próbki, przede wszystkim przez rozdzielenie nakładki i tarczy. Wartość maksymalna siły oddzierającej w funkcji drogi trzpienia występuje w momencie, gdy rozdzielenie osiąga w jednym miejscu na obwodzie, krawędź zewnętrzną powierzchni roboczej próbki. Część malejąca zależności odpowiada dalszemu oddzieraniu nakładki.

Oprócz zjawisk występujących między nakładką i tarczą /mechanizm powstawania złącza tworzywa epoksydowego z materiałem tarczy został w zarysie opisany w p. 2.4/ występują jednocześnie zjawiska w samej nakładce. Rozkład naprężeń w nakładce jest ogólnie ujmując proporcjonalny do współczynników sprężystości utwardzonej żywicy i włókna szklanego. O wytrzymałości próbki decydują więc te zjawiska, które odgrywają rolę dominującą w danych warunkach.

Przebieg wykresów świadczy również o podatności nakładki na odkształcenia sprężyste i plastyczne. Nakładka w dużym stopniu podatna na odkształcenia bez utraty ciągłości masy ma wykres mniej stromy i odwrotnie /rys. 19/.



Rys. 19. Poglądowa zależność siły oddzierającej od drogi trzpienia oddzierającego w przypadku nakładek o: I-małej podatności na odkształcenia, II-średniej podatności na odkształcenia i III - dużej podatności na odkształcenia.

2.6. Optymalizacja procesu oddzierania obwodowego

Badania prowadzone w celu optymalizacji procesu oddzierania obwodowego obejmują badania zależności odporności na oddzieranie obwodowe od:

- rodzaju tworzywa epoksydowego,
- rodzaju tkaniny i maty,
- sposobu dociskania i przesykania tkaniny,
- liczby warstw tkaniny w nakładce,
- dokładności dozowania żywicy i utwardzacza.

2.6.1. Wpływ rodzaju tworzywa epoksydowego

Do badań zależności odporności na oddzieranie obwodowe od rodzaju tworzywa epoksydowego przewidziano po wstępnej analizie przeprowadzonej na podstawie danych z literatury i wyników badań procesu oddzierania obwodowego, niżej podane rodzaje tworzywa:

- 1/ Epidian 5 i utwardzacz Z-1 zmieszane ze sobą w stosunku 9:1 ^{x/},
- 2/ Epidian 51 /Epidian 5 modyfikowany ftalanem dwubutyli/ i utwardzacz Z-1 zmieszane ze sobą w stosunku 10:1,
- 3/ Epidian 53 /Epidian 5 modyfikowany styrenem/ i utwardzacz Z-1 zmieszane ze sobą w stosunku 10:1,
- 4/ Epidian 5 z dodatkiem eteru fenyloglicydowego w ilości 20 % masowo /mieszanina zbliżona do żywicy Epidian 52/ i utwardzacz Z-1 zmieszane ze sobą w stosunku 100:12, 5,
- 5/ Epidian 5 z dodatkiem eteru butyloglicydowego w ilości 15 % masowo /mieszanina zbliżona do żywicy Epidian 58/ i utwardzacz Z-1 zmieszane ze sobą w stosunku 100:12, 5,
- 6/ Epidian 57 /Epidian 5 modyfikowany żywicą poliestrową/ i utwardzacz Z-1 zmieszane ze sobą w stosunku 10:1,
- 7/ Epidian 55 /Epidian 5 modyfikowany fosforynem trójfenylo - wym/ i utwardzacz Z-1 zmieszane ze sobą w stosunku 100:8,
- 8/ Epidian 5 i utwardzacz PAC zmieszane ze sobą w stosunku 1:1,
- 9/ Epidian 51 i utwardzacz PAC zmieszane ze sobą w stosunku 1:1,
- 10/ Epidian 53 i utwardzacz PAC zmieszane ze sobą w stosunku 1:1,
- 11/ Epidian 5 z dodatkiem eteru fenyloglicydowego w ilości 20 % masowo i utwardzacz PAC zmieszane ze sobą w stosunku 1:1,
- 12/ Epidian 5 z dodatkiem eteru butyloglicydowego w ilości 15 % masowo i utwardzacz PAC zmieszane ze sobą w stosunku 1:1,
- 13/ Epidian 57 i utwardzacz PAC zmieszane ze sobą w stosunku 1:1,
- 14/ Epidian 55 i utwardzacz PAC zmieszane ze sobą w stosunku 1:1,
- 15/ Epidian 100 /mieszanina żywicy Epidian 1 i utwardzacza dwucyanodwuamidu/,
- 16/ Epidian 5 i utwardzacz w postaci mieszaniny amin aromatycznych o nazwie handlowej MM zmieszane ze sobą w stosunku 100:16, 5,
- 17/ Epidian i utwardzacz w postaci bezwodnika kwasu melainowego o nazwie handlowej BHM zmieszane ze sobą w stosunku 100:85.

^{x/} Podane niżej stosunki, bardzo zbliżone do stechiometrycznych, dotyczą mas żywicy i utwardzacza.

Wymienione żywice, utwardzacze i modyfikatory są wytwarzane w kraju lub są dostępne na rynku krajowym - jest to zatem zgodne z wnioskiem rozdziału 1.

Myślą przewodnią wyboru rodzaju tworzywa epoksydowego do badań była chęć przebadania zależności odporności na oddzieranie obwodowe od rodzaju tworzywa o zróżnicowanych własnościach po utwardzeniu oraz o rozmaitych własnościach technologicznych /przetwórczych/. Wśród podanych 17 rodzajów tworzywa epoksydowego są takie, które charakteryzują się stosunkowo dużą twardością i małą podatnością na odkształcenia bez utraty ciągłości masy po utwardzeniu /tworzywa nr 14 i nr 15/, średnią twardością i podatnością na odkształcenia /tworzywa nr 16 i 17/ oraz małą twardością i dużą podatnością na odkształcenia /tworzywa nr 8 i 14/. Są tworzywa w postaci cieczy /tworzywa nr 14 i 14/, jak również w postaci ciała stałego /tworzywo nr 15/. Są też tworzywa utwardzane zarówno w temperaturze pokojowej jak i podwyższonej /tworzywa nr 14 i 14/ oraz utwardzane tylko w temperaturze podwyższonej /tworzywa nr 15 i 17/. Wszystkie wymienione tworzywa mają jednak dużą adhezję do metali i szkła, małą nasiąkliwość i dość dobrą odporność na starzenie w stosunku do innych tworzyw epoksydowych.

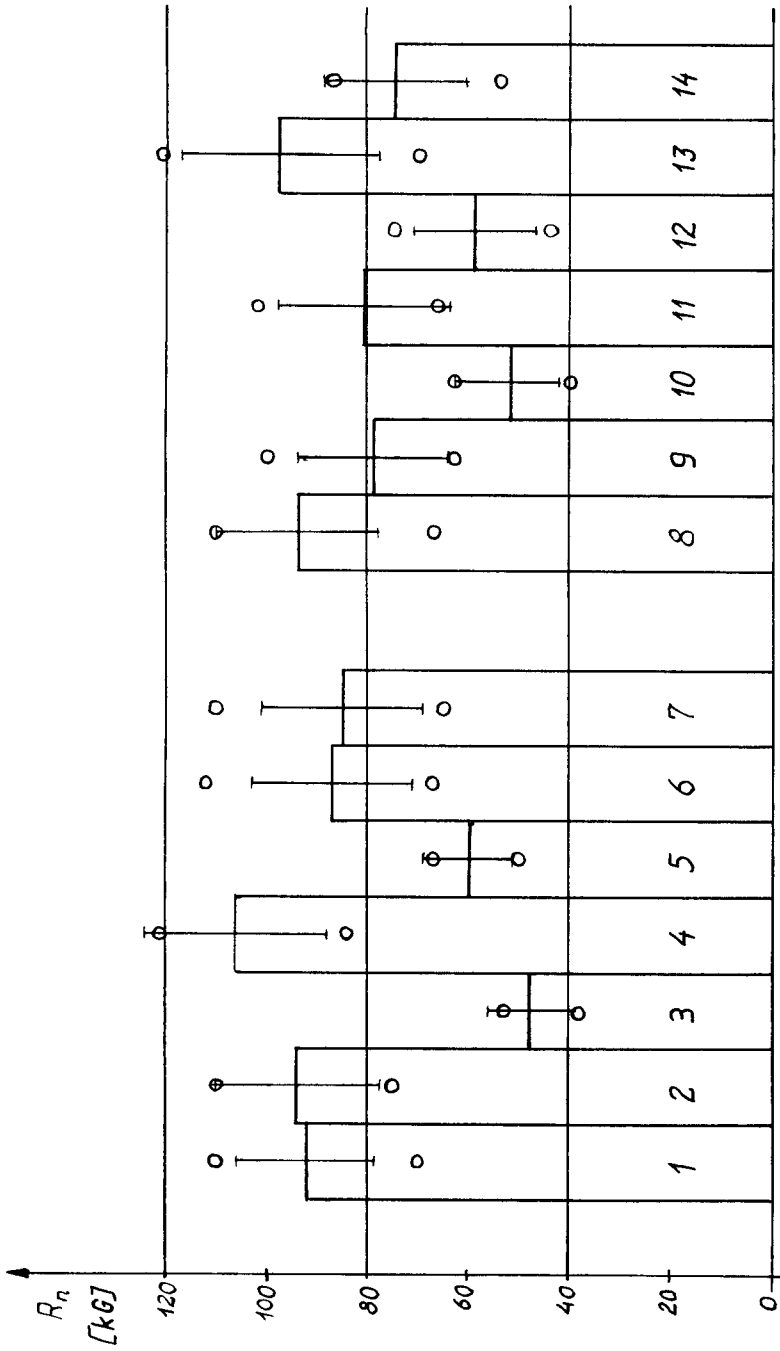
Utwardzanie tworzyw epoksydowych, oznaczonych numerami 14 i 14, przeprowadzano w temperaturze $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ w czasie 240 godzin, utwardzanie tworzywa nr 15 przeprowadzano w temperaturze 180°C w czasie 1 godziny, utwardzanie tworzywa nr 16 przeprowadzano w temperaturze 40°C w czasie 18 godzin i dodatkowo w temperaturze 80°C w czasie 6 godzin, wreszcie utwardzanie tworzywa nr 17 przeprowadzano trójstopniowo, tj. w temperaturze 120°C w czasie 18 godzin, w temperaturze 150°C w czasie 7 godzin i w temperaturze 180°C w czasie 10 godzin.

Tkaninę szklaną ST31 dociskano i przesycano przez lekkie pionowe uderzenie młoteczką z twardej gumy o jej powierzchnię, otrzymując nakładki jednowarstwowe.

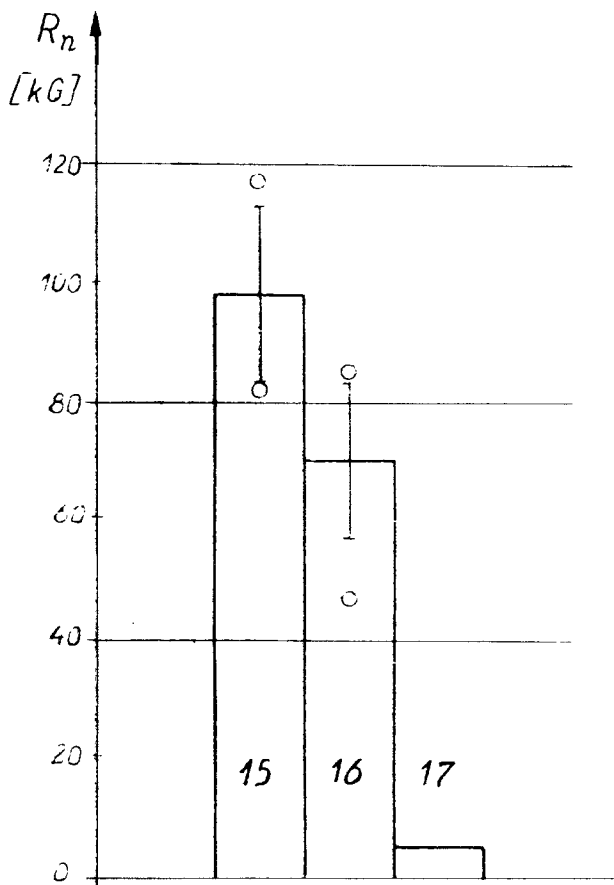
Na rys. 20 i rys. 21 zestawiono otrzymane wartości odporności na oddzieranie obwodowe w zależności od rodzaju tworzywa epoksydowego. Oznaczenia liczbowe na rysunku odpowiadają liczbom porządkowym wyszczególniania rodzajów tworzywa.

Badania wykazują znaczny wpływ rodzaju tworzywa epoksydowego na odporność na oddzieranie obwodowe, co jest zupełnie oczywiste, wpływa bowiem na nie z jednej strony różna wartość adhezji specyficznej użytych tworzyw do powierzchni roboczej próbki, która wynika z różnic w budowie chemicznej tworzyw /można przyjąć, że adhezja mechaniczna nie ulega zmianie/, a z drugiej strony wpływają na nie różnice własności mechanicznych nakładek, zwłaszcza zaś podatności na odkształcenia.

Przy selekcji tworzyw epoksydowych do praktycznych zastosowań w naprawie maszyn kierowano się wynikami przeprowadzonych badań oraz - aby selekcja nie była jednokryterialna - własnościami tworzyw



Rys. 20. Zależność odporności na oddzieranie obwodowe R_n od rodzaju tworzywa epoksydowego; liczby porządkowe oznaczają rodzaje tworzywa epoksydowego zgodnie z kolejnością podaną w tekście.



Rys. 21. Zależność odporności na oddzieranie obwodowe R_n od rodzaju tworzywa epoksydowego; liczby porządkowe oznaczają rodzaje tworzywa epoksydowego zgodnie z kolejnością podaną w tekście.

podanymi w dostępnej literaturze. Wzięto również pod uwagę czynniki technologiczne i organizacyjne w specyficznych warunkach wykonywania naprawy /np. przeprowadzanie naprawy w warunkach polowych, morskich itp. /. Ostatecznie zdecydowano, iż do szerszych zastosowań praktycznych mogą być używane w zależności od żądanych własności technologicznych, np. lepkości, czasu i temperatury utwardzania i innych oraz żądanych własności po utwardzeniu, np. wytrzymałości, podatności na odkształcenia, odporności cieplnej, chemicznej i innych, tworzywa oznaczone numerami: 1, 2, 4, 5, 7, 8, 9, 11, 13 i 16. Szczególnie zalecane wydają się tworzywa nr 1, 4, 7, 8, 11, 13 i 16 /tabl. 7/.

Tablica 7

Zalecane rodzaje tworzywa epoksydowego

Rodzaj żywicy epoksydowej	Rodzaj utwardzacz	Stosunek masowy żywicy do utwardzacza	Rodzaj modyfikatora wprowadzanego przez użytkownika
Epidian 5	Z-1	9 : 1	-
Epidian 5	Z-1	100 : 12,5	Eter fenyłowoglicydowy ^{x/}
Epidian 55	Z-1	100 : 8	-
Epidian 5	PAC	1 : 1	-
Epidian 5	PAC	1 : 1	Eter fenyłowoglicydowy
Epidian 57	PAC	1 : 1	-
Epidian 5	MM	100 : 16,5	-

Uwaga: ^{x/} Żywica Epidian 5 po zmieszaniu z eterem fenyłowoglicydowym jest bardzo zbliżona do żywicy Epidian 52 [12], niedostępnej na rynku.

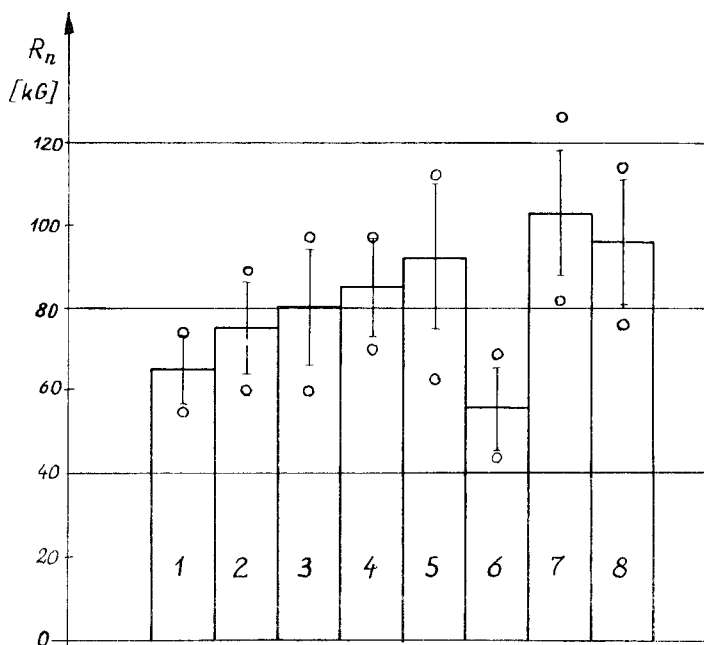
2.6.2. Wpływ rodzaju tkaniny i maty

W naprawie maszyn przy wykorzystaniu tworzyw epoksydowych stosuje się powszechnie tkaniny i maty szklane, co jest spowodowane głównie przez ich stosunkowo dużą wytrzymałość mechaniczną, odporność chemiczną i cieplną. Do badań zależności odporności na oddziaływanie obwodowe od rodzaju tkaniny i maty szklanej przewidziano następujące rodzaje tkaniny i maty:

- | | |
|---|--------------------------------------|
| 1/ tkanina szklana 2072-310±61/ST19-140, | } oznaczenia według
BN-70/6859-03 |
| 2/ tkanina szklana 2072-320±24/ST1-90, | |
| 3/ tkanina szklana 2072-330±43/ST31-110, | |
| 4/ tkanina szklana 2072-330±33/ST38-110, | |
| 5/ tkanina szklana importowana o ciężarze /tzw. gramaturze/
450 g/m ² , | |
| 6/ mata szklana importowana o ciężarze 300 g/m ² , | |
| 7/ mata szklana importowana o ciężarze 400 g/m ² , | |
| 8/ matotkanina szklana importowana o ciężarze ok. 900 g/m ² . | |

Wymienione tkaniny i maty zostały wstępnie wybrane na podstawie danych z literatury i wyników badań procesu oddzierania obwodowego, spośród wytwarzanych w kraju lub dostępnych na rynku krajowym /wniosek rozdziału 1/. Wszystkie one charakteryzują się przede wszystkim dość luźnym /niezbitym splotem i stosunkowo małą ilością skrzyżowań włókien, co m. in. ułatwia przesycanie ich nieutwardzonym tworzywem epoksydowym. Jak wykazują bowiem badania przytaczane dalej /u. 2.6.3. oraz 2.7./, odporność na oddzieranie obwodowe zależy wyraźnie od stopnia przesycenia tkaniny. Tkaniny i maty mają preparację włókienniczą. Stosowanie symboli tkanin według BN-70/6859-03 jest niedogodne i dlatego w niniejszej pracy używa się dla tkanin oznaczonych numerami 1-4 symboli skróconych, a mianowicie odpowiednio: ST19, ST1, ST31 i ST38.

Stosowano żywicę Epidian 5 zmieszana z utwardzaczem Z-1 w stosunku masowym 9:1, tworząc nakładki jednowarstwowe. Tkaniny i maty dociskano oraz przesycano przez lekkie pionowe uderzenia o ich powierzchnię pędzlem o krótkim włosiu. Utwardzanie przeprowadzono w temperaturze $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ w czasie 240 godzin.



Rys. 22. Zależność odporności na oddzieranie obwodowe R_n od rodzaju tkaniny i maty; liczby porządkowe oznaczają rodzaje tkaniny i maty zgodnie z kolejnością podaną w tekście.

Na rys. 22 zestawiono otrzymane wartości odporności na oddzianie obwodowe w zależności od rodzaju tkaniny i maty szklanej. Oznaczenia liczbowe na rysunku odpowiadają liczbom porządkowym wyszczególniania rodzajów tkaniny i maty.

Z badań wynika przewidywany duży wpływ rodzaju tkaniny i maty na odporność na oddzianie obwodowe. Rodzaj tkaniny i maty nie wpływa wprawdzie na wartość adhezji utwardzonej żywicy do powierzchni roboczej próbki, ale wpływa na decydujący sposób na własności nakładki, przez co wpływa na odporność na oddzianie obwodowe. Materiał nakładki jest niejednorodny i anizotropowy w płaszczyźnie, przy czym stopień niejednorodności i anizotropowości zależy od rodzaju tkaniny i maty szklanej. Nakładka bowiem składa się z dwu zespolonych ze sobą składników: utwardzonej żywicy epoksydowej i jak gdyby wtopionych włókien szklanych w formie tkaniny lub maty. Własności obu składników bardzo różnią się od siebie. Utwardzona żywica epoksydowa jest materiałem niemal izotropowym, a tkanina szklana, jak wiadomo - materiałem wybitnie anizotropowym. Poza tym istnieją inne zasadnicze różnice własności utwardzonej żywicy epoksydowej i włókna szklanego, z którego zbudowane są tkaniny i maty. Przykładowo utwardzona żywica epoksydowa bez napęniacza odkształca się najpierw sprężysto, dalej elastoplastycznie i plastycznie oraz wykazuje dość znaczne pełzanie, natomiast włókno szklane odkształca się prawie całkowicie sprężysto aż do zerwania, praktycznie pełzania nie obserwuje się.

Selekcjonując tkaniny i maty do praktycznych zastosowań w naprawie maszyn brano pod uwagę wyniki przeprowadzonych badań oraz własności tkanin i mat, jak również wiadomości z dostępnej literatury dotyczące własności laminatów epoksydowych. Przyjęto jako zalecane do szerszych zastosowań praktycznych tkaniny szklane ST31, ST38, tkaninę 450 g/m², matę 400 g/m² i matotkaninę około 900 g/m².

Maty, poza cechami wymienionymi w u. 2.5.2, łatwiej przesycają się nieutwardzonym tworzywem epoksydowym, są bardziej sztywne i w związku z tym lepiej przylegają do powierzchni płaskich przedmiotów naprawianych, w czasie pracy powodują duże zapylenie pomieszczenia roboczego szkodliwym pyłem szklanym. Szczególnie zalecane wydają się w specyficznych warunkach przeprowadzania naprawy, krajowe tkaniny ST31 i ST38 tkane z rovingu, tj. pasm elementarnych włókien szklanych ciągłych złączonych razem bez skrętu, mające splot satynowy. Wytwarzane są one ze szkła o symbolu międzynarodowym E, niskoalkalicznego /zwanego też nieściśle szkłem bezalkalicznym/, w którym suma tlenków alkalicznych $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ jest mniejsza od 2 %.

2.6.3. Wpływ sposobu dociskania i przesykania tkaniny

Do badań zależności odporności na oddzianie obwodowe od sposobu dociskania tkaniny do powierzchni roboczej próbki i przesykania

tkaniny nieutwardzonym tworzywem epoksydowym przewidziano następujące sposoby dociskania i przesykania tkaniny:

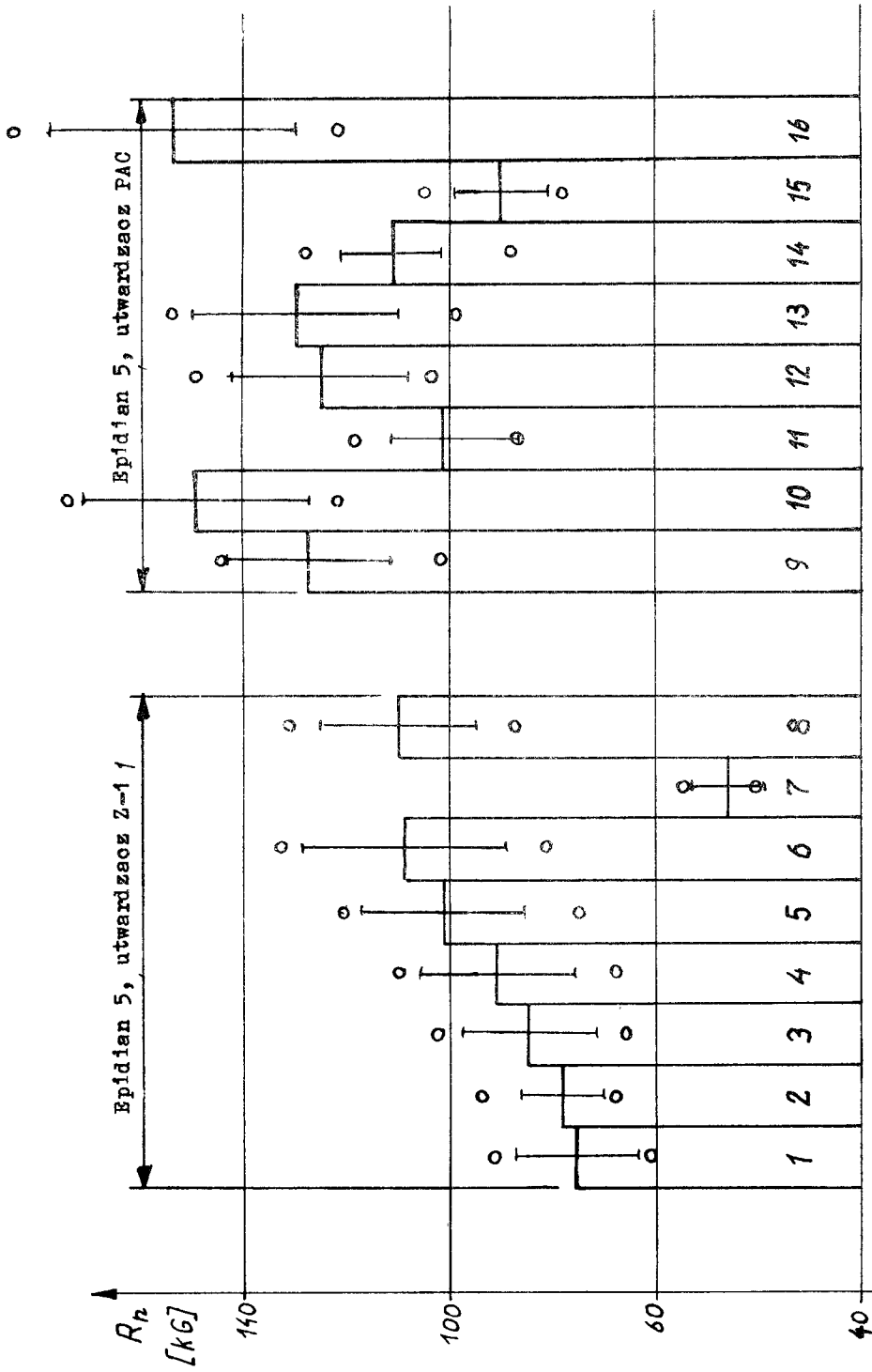
- 1/ położenie na powierzchni tkaniny płaskiego krążka metalowego o średnicy 65 mm i wysokości 15 mm /o masie 0,39 kg/ ogrzanego do temperatury 35°C na czas 0,5 min,
- 2/ jak poprzednio, lecz z dodatkowym naciskiem 4 kG,
- 3/ toczenie po powierzchni tkaniny rolki o gładkiej powierzchni roboczej w temperaturze pokojowej,
- 4/ lekkie pionowe uderzenie o powierzchnię tkaniny pędzlem o krótkim włosiu,
- 5/ lekkie uderzanie o powierzchnię tkaniny młoteczką z twardej gumy,
- 6/ jak poprzednio, lecz energicznie,
- 7/ ogrzanie tarczy do temperatury 60°C i przyłożenie tkaniny bez wywierania nacisku,
- 8/ toczenie po powierzchni tkaniny rolki o radełkowanej powierzchni roboczej i temperaturze 40°C, następnie pionowe uderzenie o powierzchnię tkaniny pędzlem o krótkim włosiu

Nie przewidziano do badań innych możliwych sposobów dociskania i przesykania tkaniny, charakteryzujących się większymi naciskami jednostkowymi, gdyż mogą one powodować wzajemne przecinanie włókien szklanych w miejscach skrzyżowań. Zmniejsza się przez to wytrzymałość nakładki i z tym związaną jej odporność na oddzieranie obwodowe. Sygnały o niebezpieczeństwie takiego przecinania włókien szklanych spotyka się w poważniejszych pracach dotyczących laminatów szklanych.

Stosowano żywicę Epidian 5 zmieszaną z utwardzaczem Z-1 w stosunku masowym 9:1 oraz żywicę Epidian 5 zmieszaną z utwardzaczem PAC w stosunku masowym 1:1. Używano tkaniny ST31, tworząc nakładki jednowarstwowe, warunki utwardzania były takie jak w badaniach poprzednio opisanych.

Otrzymane wartości odporności na oddzieranie obwodowe, w zależności od sposobu dociskania i przesykania tkaniny, zestawiono na rys. 23, na którym oznaczenia liczbowe 1:8 odpowiadają mieszaninie żywicy Epidian 5 i utwardzacza Z-1, natomiast oznaczenia 9:16 odpowiadają mieszaninie żywicy Epidian 5 i utwardzacza PAC w kolejności wyszczególniania sposobów dociskania i przesykania tkaniny.

Odporność na oddzieranie obwodowe zależy - jak wynika z badań - w dużym stopniu od sposobu dociskania i przesykania tkaniny, przy czym otrzymano inny przebieg dla mieszaniny żywicy Epidian 5 i utwardzacza Z-1 i inny dla mieszaniny żywicy Epidian 5 i utwardzacza PAC co wynika przede wszystkim z większej lepkości mieszaniny ostatniej. Duży wpływ sposobu dociskania i przesykania tkaniny na odporność na oddzieranie obwodowe, spowodowany jest z pewnością różną skutecznością dociskania tkaniny do powierzchni roboczej tarczy, różnym stop-



Rys. 23. Zależność odporności na oddziaływanie obwodowe R_n od sposobu dociskania i przesykania tkaniny: liczby porządkowe oznaczają sposoby dociskania i przesykania tkaniny według kolejności podanej w tekście.

niem jej przesycenia nieutwardzonym tworzywem epoksydowym i wreszcie różną ilością usuniętych pęcherzyków powietrza z powleczonej mieszaniną żywicy i utwardzacza powierzchni roboczej tarczy oraz powierzchni tkaniny w poszczególnych sposobach. Dla obu rodzajów tworzyw największą odporność otrzymano podczas toczenia po powierzchni tkaniny rolki o radełkowanej powierzchni roboczej i temperaturze 40°C oraz następnie pionowego uderzenia o powierzchnię tkaniny pędzlem o krótkim włosiu /sposób nr 8/, najmniejszą podczas ogrzania tarczy do temperatury 60°C i przyłożenia tkaniny bez wywierania nacisku /sposób nr 7/. W sposobie nr 8 stosunkowo największa ilość zwilżonych włókien szklanych zostaje dociśnięta do powierzchni tarczy, tworzywo w największym stopniu dostaje się między włókna oraz zostaje najwięcej usuniętych pęcherzyków powietrza. W sposobie nr 7 na skutek wyższej temperatury, która powoduje głównie zmniejszenie lepkości tworzywa, dzieje się podobnie, jednak podwyższona temperatura powoduje wzrost szybkości reakcji utwardzania tworzywa. Powstające wówczas gęste przestrzenne sieciowanie powoduje m.in. kruchość utwardzonego tworzywa, a w związku z tym mniejszą odporność na oddzieranie obwodowe.

Przeprowadzając selekcję sposobów dociskania i przesycania tkaniny do praktycznych zastosowań w naprawie maszyn uwzględniono głównie wyniki badań oraz względy wykonawcze. Trzeba dodać iż względy wykonawcze są w tym przypadku wyjątkowo istotne, np. podczas naprawy samochodowego zbiornika benzyny stosowanie młoteczka jest nieracjonalne, rolki - mało wydajne, a najwłaściwsze jest użycie pędzla. Przyjęto za zalecane do szerszych zastosowań praktycznych sposoby nr 4, 5, 6 i 8.

Powstające ewentualnie obawy, że niektóre spośród przebadanych sposobów dociskania i przesycania tkaniny nie zapewniają dostatecznej powtarzalności wyników /odnosi się to zwłaszcza do sposobów nr 5 i 6/, nie znajdują potwierdzenia w badaniach. Nie zaobserwowano też nadmiernego rozbryzgu tworzywa w sposobie nr 6, co wytłumaczyć można stosunkowo dość znaczną lepkością tworzywa.

2. 6. 4. Wpływ liczby warstw tkaniny w nakładce

Dociśnięte do powierzchni tarczy i przesyczone tworzywem epoksydowym warstwy tkaniny szklanej tworzą nakładkę laminatu epoksydowo-szklanego /epoksydowego laminatu szklanego/. Badania zależności odporności na oddzieranie obwodowe od ilości warstw tkaniny w nakładce przeprowadzono przy użyciu następujących rodzajów tworzywa epoksydowego:

1/ Epidian 5 i utwardzacz Z-1 zmieszane ze sobą w stosunku
9:1 x/

x/ Podane stosunki dotyczą masy żywicy i utwardzacza.

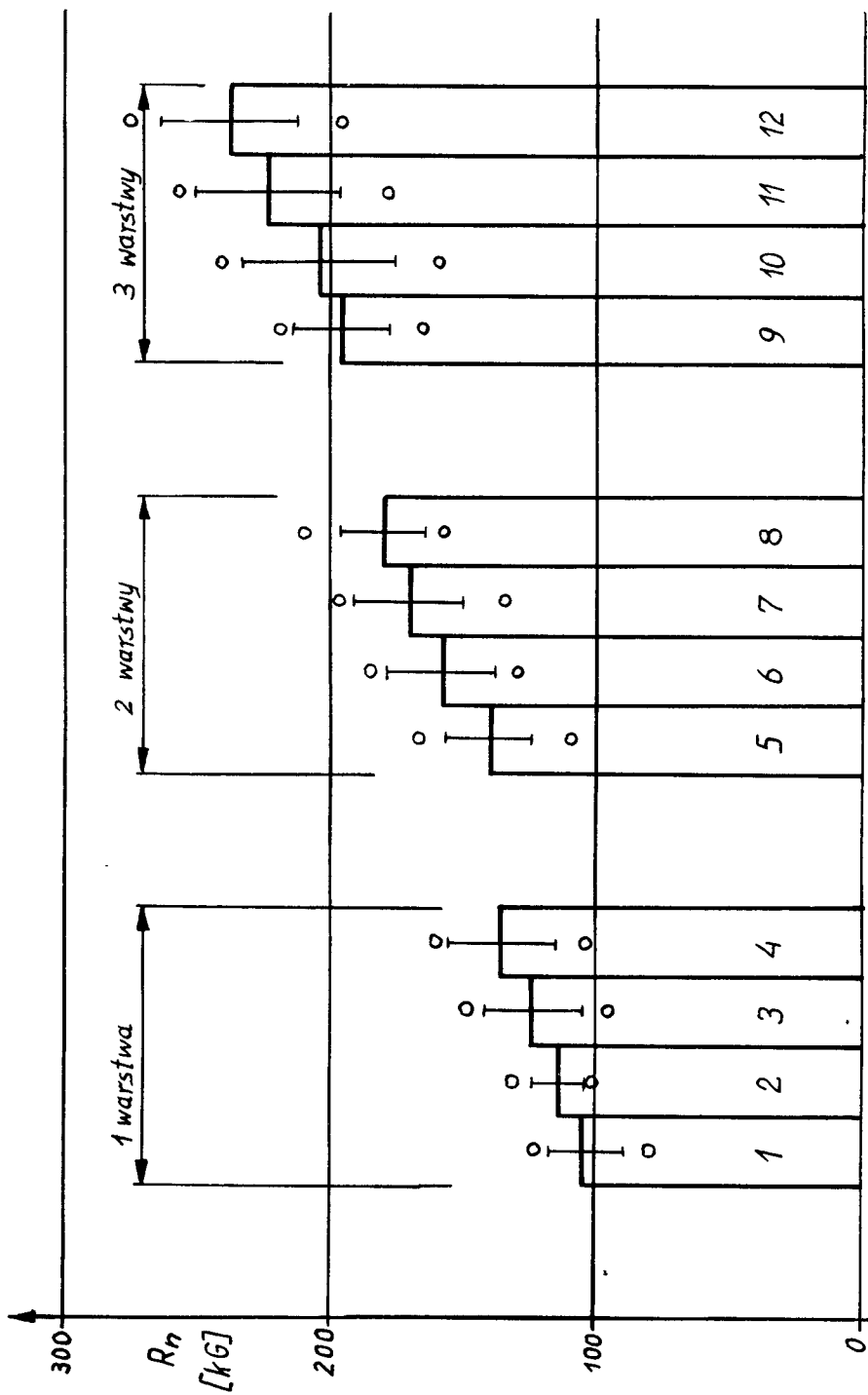
- 2/ Epidian 57 i utwardzacz Z-1 zmieszane ze sobą w stosunku 10:1,
- 3/ Epidian 5 i utwardzacz PAC zmieszane ze sobą w stosunku 1:1,
- 4/ Epidian 57 i utwardzacz PAC zmieszane ze sobą w stosunku 1:1.

Próbki do badań wykonywano stosując każde tworzywo z osobna. Użyto tkaniny szklanej ST31 otrzymując nakładki jedno-, dwu- i trójwarstwowe. Każdą warstwę tkaniny dociskano i przesycono oddzielnie przez toczenie po powierzchni tkaniny rolki o radełkowanej powierzchni roboczej i temperaturze 40°C oraz następnie pionowe uderzenie o powierzchnię tkaniny pędzlem o krótkim włosiu. Utwardzanie przeprowadzono w temperaturze $20 \pm 2^\circ\text{C}$ w czasie 240 godzin.

Na rys. 24 zestawiono otrzymane wartości odporności na oddzieranie obwodowe w zależności od liczby warstw tkaniny w nakładce. Oznaczenia liczbowe 1÷4 odpowiadają nakładce jednowarstwowej, oznaczenia 5÷8 - nakładce dwuwarstwowej i oznaczenia 9÷12 - nakładce trójwarstwowej w kolejności wyszczególniania rodzajów użytego tworzywa epoksydowego.

Z badań wynika, że z zwiększaniem się liczby warstw tkaniny w nakładce wzrasta odporność na oddzieranie obwodowe dla wszystkich rodzajów zastosowanego tworzywa epoksydowego. Wzrost ten jest w przybliżeniu stały: zwiększenie o jedną warstwę tkaniny w nakładce w zakresie liczby warstw od 1 do 3 powoduje zwiększenie się odporności na oddzieranie obwodowe o około 33÷41%.

Wzrost odporności na oddzieranie obwodowe wraz z liczbą warstw tkaniny w nakładce wynika najprawdopodobniej ze zmian własności nakładki, bowiem nie wskazuje na to, aby liczba warstw tkaniny w nakładce wpływała wyraźnie na adhezję między utwardzoną żywicą epoksydową i powierzchnią tarczy próbki. Wzrost ten jest zatem przede wszystkim spowodowany przez zmniejszenie się podatności nakładki na odkształcenia, im nakładka ma więcej warstw tkaniny, tym jest sztywniejsza - mniej podatna na odkształcenia. Ze wzrostem sztywności nakładki zwiększa się szerokość paska, na który rozłożone jest obciążenie zewnętrzne oraz zmniejsza się spiętrzenie naprężeń, co łączy się ze zwiększoną odpornością na oddzieranie obwodowe. Stosowane do badań tworzywa różnią się m. in. współczynnikami sprężystości. Największy współczynnik sprężystości ma tworzywo nr 1, a najmniejszy tworzywo nr 4. Wynika to jednoznacznie z literatury i danych producenta żywic epoksydowych. Z rys. 24 widać, że największą odporność na oddzieranie obwodowe uzyskano dla tworzywa /kleju/ nr 4 zarówno w przypadku nakładek jedno-, dwu- i trójwarstwowych. Potwierdza to zatem rozumowanie przeprowadzone przez A. Siemaszkę i S. Porejkę [79] przy wykorzystaniu wyników badań G. Spiesa.



Rys. 24. Zależność odporności na oddzieranie obwodowe R_n od liczby warstw tkaniny w nakładce; liczby 1-4 dotyczą nakładki trójwarstwowej w kolejności wyszczególniania rodzajów użytego tworzywa epoksydowego.

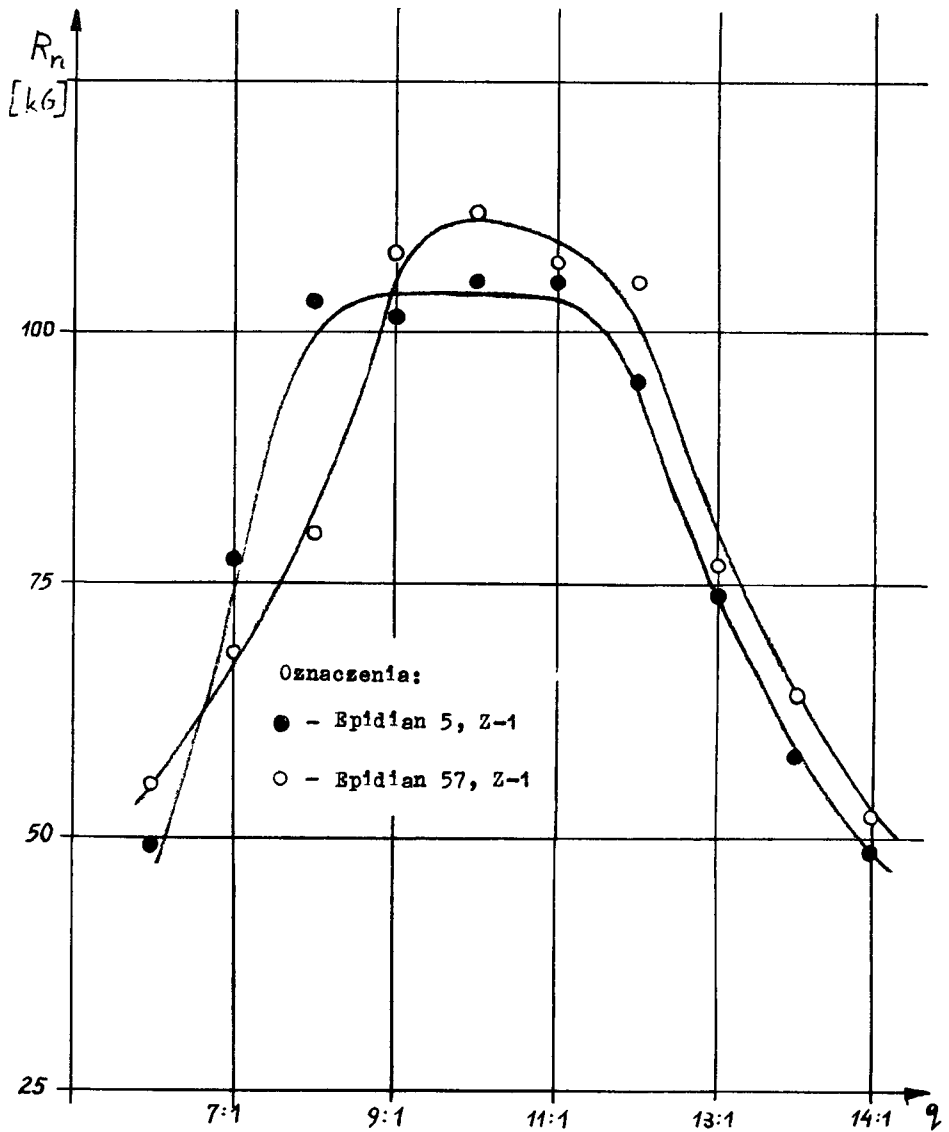
2.6.5. Wpływ dokładności dozowania żywicy i utwardzacza

Z punktu widzenia własności utwardzonych tworzyw epoksydowych stosunek stechiometryczny, tj. chemicznie równoważny, żywicy i utwardzacza jest najważniejszy. Poszczególne partie żywic handlowych tego samego rodzaju różnią się nieznacznie wartością liczby epoksydowej, która jak wiadomo, stanowi podstawę doboru stechiometrycznej ilości utwardzacza. Producenci bowiem wytwarzają żywicę o liczbie epoksydowej, zawierającej się w pewnych granicach określonych normą lub tzw. warunkami technicznymi. Zatem stosowanie ściśle stechiometrycznej ilości utwardzacza pociągałoby za sobą konieczność dokładnej znajomości liczby epoksydowej danej żywicy i częstych przeliczeń. Ponadto poszczególne partie utwardzacza handlowego tego samego rodzaju różnią się nieznacznie własnościami, np. zawartością "czystego utwardzacza", gdyż producenci wytwarzają utwardzacz również o własnościach mieszczących się w pewnych granicach, określonych normą lub warunkami technicznymi. W chemicznych badaniach naukowych, zwłaszcza podstawowych, często trzeba znać dokładnie wartość liczby epoksydowej, a nie tylko jej zakres i w tym celu przeprowadza się odnośne badania. Takie postępowanie w świetle celu niniejszej pracy wydaje się nieuzasadnione. W związku z tym istotne znaczenie ma zagadnienie dokładności dozowania żywicy i utwardzacza bez tzw. oznaczania liczby epoksydowej i wykonywania innych badań o charakterze chemicznym.

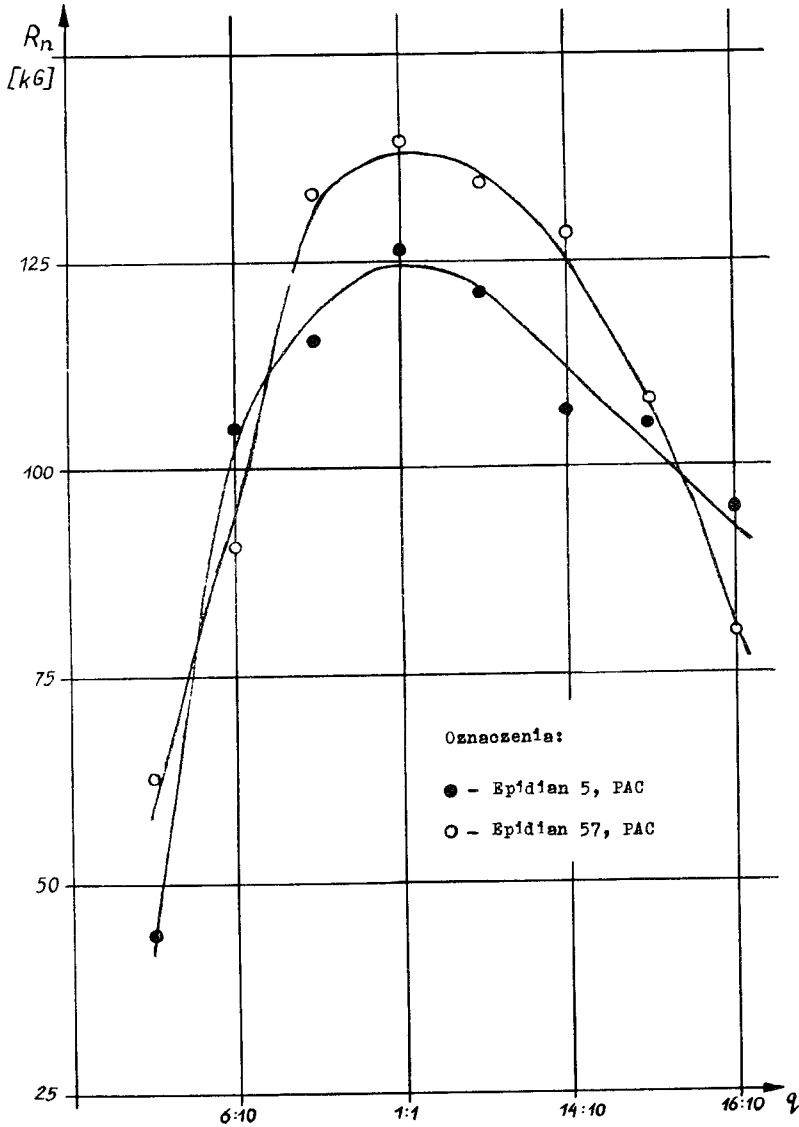
Badania zależności odporności na oddzieranie obwodowe od dokładności dozowania żywicy i utwardzacza przeprowadzono przy użyciu takich samych rodzajów tworzywa epoksydowego jak w badaniach zależności odporności na oddzieranie obwodowe od ilości warstw tkaniny w nakładce. Badania te wykonywano w sposób pośredni przez badanie zależności odporności na oddzieranie obwodowe od wzajemnego stosunku /wzajemnych proporcji/ żywicy i utwardzacza.

Stosowano tkaninę szklaną ST38, tworząc nakładki jednowarstwowe. Tkaninę dociskano i przesycało przez toczenie po powierzchni tkaniny rolki o radełkowanej powierzchni roboczej i temperaturze 40°C oraz następnie pionowe uderzenie pędzlem o krótkim włosiu. Utwardzanie przeprowadzono w temperaturze $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ w czasie 18 godzin i dodatkowo w temperaturze 80°C w czasie 6 godzin. Otrzymane wyniki badań przedstawiono na rys. 25 i rys. 26.

Z badań wynika, że odporność na oddzieranie obwodowe zależy w dużym stopniu od stosunku żywicy i utwardzacza. Jest to zrozumiałe, gdyż zmieniając wzajemny stosunek żywicy i utwardzacza, wpływa się na budowę chemiczną utwardzonego tworzywa, przez co wpływa się na adhezję zarówno specyficzną jak i mechaniczną utwardzonej żywicy do powierzchni tarczy próbki oraz adhezję utwardzonej żywicy do powierz-



Rys. 25. Zależność odporności na oddzieranie obwodowe R_n od wzajemnych stosunków q żywicy Epidian 5 i Epidian 57 oraz utwardzacza Z-1. Ze względów rysunkowych nie zaznaczono odchyłeń średnich jak również maksymalnych i minimalnych wyników prób.



Rys. 26. Zależność odporności na oddzieranie obwodowe R_n od wzajemnych stosunków q żywicy Epidian 5 i Epidian 57 oraz utwardzacza PAC. Ze względu na rysunkowy nie zaznaczono odchyłeń średnich jak też maksymalnych i minimalnych wyników prób.

chni włókien szklanych w nakładce, jak również zmienia się własności utwardzonej żywicy.

Uwzględniając wyniki przeprowadzonych badań, dane z literatury odnośnie zależności innych własności tworzyw epoksydowych od dokładności dozowania oraz czynniki technologiczne i organizacyjne w specyficznych warunkach naprawy maszyn, jako optymalne stosunki można przyjąć: dla żywicy Epidian 57 zmieszanej z utwardzaczem Z-1 10:1, dla żywicy Epidian 57 zmieszanej z utwardzaczem PAC - 1:1 oraz wreszcie dla żywicy Epidian 57 zmieszanej z utwardzaczem PAC - 1:1. Zaleca się w zastosowaniach praktycznych dla utwardzacza Z-1 dokładność dozowania $\pm 2\%$, dla utwardzacza PAC dokładność $\pm 5\%$, przy dokładności dozowania żywicy $\pm 5\%$.

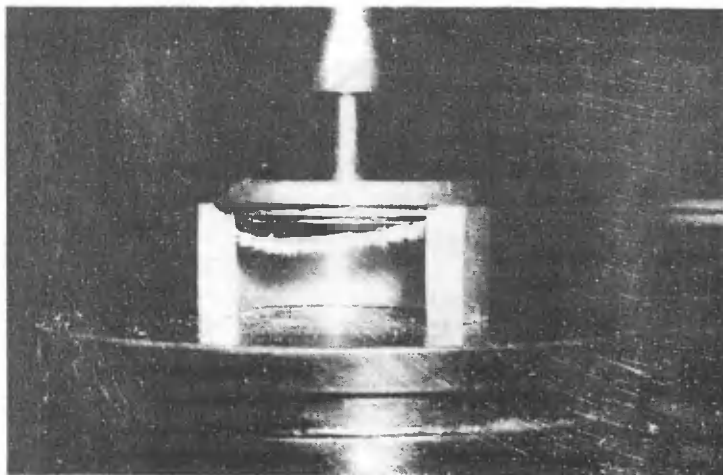
Na podkreślenie zasługuje istotny wpływ czynników technologicznych na wzajemny stosunek żywicy oraz utwardzacza i dokładność dozowania. Otóż np. z zasady przy przerobieniu większych ilości tworzywa dodaje się nieco mniej utwardzacza niż to wynika ze stosunku stechiometrycznego, aby obniżyć reaktywność mieszaniny i tym samym przedłużyć czas jej użytkowania /do chwili żelowania/.

2.7. Mechanizm niszczenia próbek w procesie oddzierania obwodowego

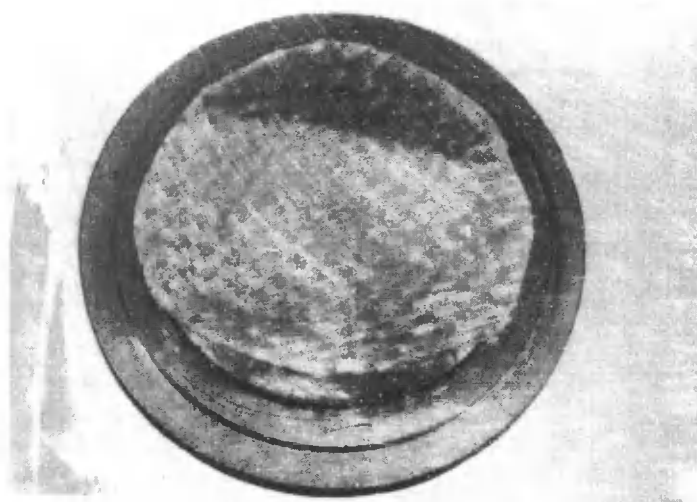
Niszczenie próbek w procesie oddzierania obwodowego może następować poprzez pokonanie sił adhezji między utwardzoną żywicą epoksydową i powierzchnią tarczy próbki, pokonanie sił adhezji między utwardzoną żywicą i powierzchnią włókien szklanych oraz poprzez pokonanie sił kohezji samej utwardzonej żywicy, jak również ewentualnie poprzez dekohezję włókien szklanych.

Wszystkie próbki zniszczone w procesie oddzierania obwodowego, podczas prób opisanych w p. 2.5 i 2.6., można podzielić na następujące grupy i podgrupy:

- 1/ próbki, w których nastąpiło oddarcie nakładki od powierzchni roboczej tarczy,
 - nakładka została częściowo oddarta i częściowo pozostała przyklejona do powierzchni tarczy, przy czym w większości przypadków sama nakładka nie uległa zniszczeniu /rys. 27a, b/,
 - nakładka została prawie całkowicie lub całkowicie oddarta z powierzchni tarczy, przy czym sama nakładka nie uległa zniszczeniu /rys. 28/,
- 2/ próbki, w których nastąpiło przebicie nakładki przez trzpień oddzierający bez oddarcia rozumianego jak wyżej /rys. 29/.

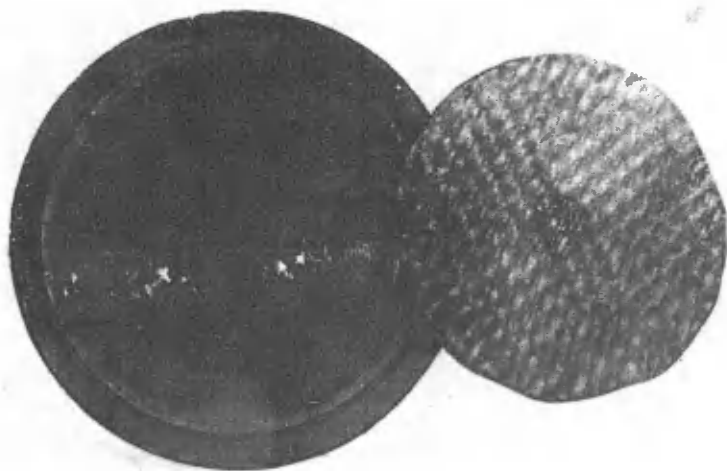


a/

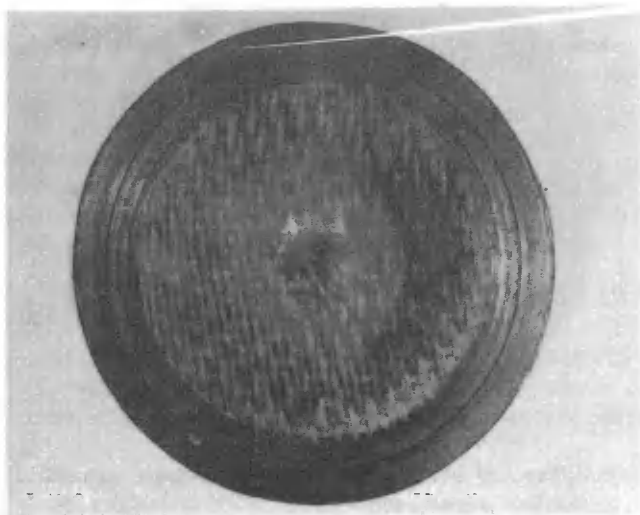


b/

Rys. 27. Częściowe oddarcie nakładki od powierzchni roboczej tarczy: a/ fragment stanowiska badawczego z, celowo wyciętym dla lepszej obserwacji, pierścieniem oporowym, b/ wygląd próbki zniszczonej przez częściowe oddarcie nakładki od powierzchni roboczej tarczy.



Rys. 28. Próbka zniszczona przez całkowite oddarcie nakładki od powierzchni roboczej tarczy.



Rys. 29. Próbka zniszczona na skutek przebicia nakładki przez trzpień oddzierający.

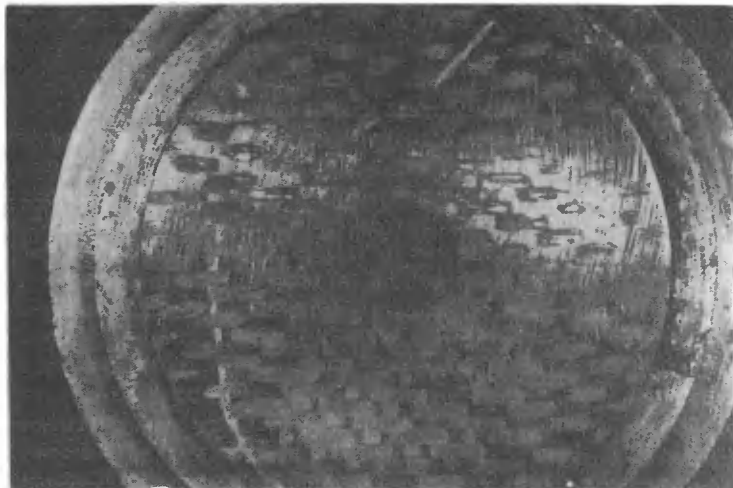
Zdecydowana większość próbek ulegała zniszczeniu, w którym następowało częściowe oddarcie nakładki z powierzchni roboczej tarczy. Ten rodzaj zniszczenia próbek przyjęto uważać za typowy i normalny. Jest on najpewniej spowodowany nierównomiernym po obwodzie rozkładem naprężeń i zróżnicowanym stopniem spiętrzenia naprężeń wzdłuż promienia nakładki, co wynika przede wszystkim z anizotropowych własności nakładki.

W niektórych przypadkach nakładka została prawie całkowicie, a w sporadycznych przypadkach całkowicie, oddarta z powierzchni tarczy, co uznano również za normalne. Te rodzaje zniszczenia próbek obserwowano przede wszystkim przy oddzieraniu nakładek trójwarstwowych, klejonych mieszaniną żywicy i utwardzacza Z-1. Można przypuszczać, że rozkład naprężeń był tu bardziej równomierny po obwodzie i spiętrzenie naprężeń wzdłuż promienia było mniejsze. Wynikać to może ze zwiększonej sztywności nakładki. Mniejszy był więc stopień anizotropii własności nakładki. W nakładkach wielowarstwowych istnieje bowiem większe prawdopodobieństwo przemieszczania poszczególnych warstw tkanin o pewien kąt względem siebie i uzyskiwania tzw. "układu gwiazdowego".

Stwierdzono na podstawie obserwacji mikroskopowych zniszczenia skleiny przebiegające zarówno w obszarze adhezyjnym /zniszczenie adhezyjne/, w obszarze kohezyjnym /zniszczenie kohezyjne/ oraz częściowo w obszarze adhezyjnym i częściowo w obszarze kohezyjnym /zniszczenie adhezyjno-kohezyjne/, które było najczęściej spotykane. Zniszczenie przebiegające częściowo w obszarze adhezyjnym i kohezyjnym świadczy m. in. o dobrym przygotowaniu powierzchni tarczy próbki do klejenia i o niemal całkowitym wyzyskaniu sił spoiwości utwardzonego tworzywa epoksydowego. Wygląd powierzchni roboczej próbki zniszczonej w tym obszarze pokazano na rys. 30.

Przypadki zniszczenia nakładki występowały przy nakładkach jednowarstwowych, rzadziej dwuwarstwowych. Zniszczenia te przejawiały się przede wszystkim w dekohezji utwardzonej żywicy epoksydowej, co było łatwe do zaobserwowania pod mikroskopem. Na ogół nie ulegała zniszczeniu cała nakładka w sposób równomierny, większy stopień zniszczenia obserwowano w sąsiedztwie oddziaływania trzpienia oddzierającego. Nie zauważono wyraźnej dekohezji samych włókien szklanych, co świadczyło o tym, że na ogół wytrzymałość włókien nie była całkowicie wykorzystana.

Przebicie nakładki przez trzpień oddzierający zdarzało się rzadko. Ten rodzaj zniszczenia próbek przyjęto uważać za nietypowy, gdyż w zasadzie nie ma tu oddzierania. Przebicie nakładki występowało w próbkach, na ogół z nakładkami jednowarstwowymi, w których tkanina pokrywająca powierzchnię roboczą próbki w miejscu otworu w tarczy nie była dostatecznie przesycona klejem. Nie zauważono w tych przypadkach "czystego" przebicia, zawsze występowało ono łącznie z lo -



Rys. 30. Wygląd powierzchni roboczej próbki zniszczonej w obszarze adhezyjnym i kohezycznym.

kalnym oddarciem nakładki w okolicy otworu tarczy /naddarciem/. Aby zmniejszyć liczbę próbek, w których następuje przebicie trzpieniem, można po dociśnięciu i przesyleniu tkaniny, w miejscu otworu tarczy dodatkowo powlec ją ostrożnie nieutwardzonym tworzywem epoksydowym. Wartości liczbowe otrzymane w przypadkach przebicia nakładki trzpieniem notowano w protokołach pomiarowych, lecz nie brano ich pod uwagę w dalszych obliczeniach.

Trzeba jeszcze dodać, że pewien wpływ na rozkład i spiętrzenie naprężeń w procesie oddzierania obwodowego ma niewątpliwie dokładność mocowania przyrządu w maszynie wytrzymałościowej. Chodzi tu głównie o zachowanie prostopadłości osi trzpienia oddzierającego do powierzchni roboczej próbki, równoległość powierzchni czołowej trzpienia do powierzchni roboczej próbki i płaskość tej ostatniej. Wydaje się jednak, iż w warunkach przeprowadzonych badań, odchylenie wynikające z tych niedokładności są pomijalnie małe.

Wyniki badań, zestawione w dokumentacji, wykazują dość znaczny rozrzut zarówno jeżeli chodzi o wyniki poszczególnych prób oddzierania obwodowego przeprowadzanych w założonych jednakowych warunkach, jak i z punktu widzenia interpolacji zależności. Na duży rozrzut wyników wskazują też autorzy, omawiający inne metody oddzierania [2, 10, 44, 79, 100, 114].

Spśród przyczyn powodujących rozrzut wyników wymienić należy następujące.

- 1/ Niezachowanie ściśle powtarzalnych własności utwardzonej nakładki w założonych jednakowych warunkach wykonania próbki, wynikające przede wszystkim z: nieuniknionej tolerancji chropowatości powierzchni roboczej próbki, dozowania żywicy i utwardzacza oraz czasu i temperatury utwardzania, różnic w stopniu dociśnięcia i przesylenia tkaniny, jak również w dokładności oczyszczenia próbki z wycieków kleju po utwardzeniu. Można sądzić, iż jest to najważniejsze źródło rozrzutu.
- 2/ Niezachowanie ściśle powtarzalnych warunków przebiegu procesu oddzierania obwodowego w założonych jednakowych warunkach, wynikające głównie z: wahań temperatury i wilgotności w pomieszczeniu laboratoryjnym /oczywiście w przyjętych dopuszczalnych granicach/ oraz niedokładności maszyny wytrzymałościowej.
- 3/ Ograniczona dokładność odczytu z siłomierza maszyny wytrzymałościowej i zaokrąglenia w dokonywanych przeliczeniach, jak również wszelkie błędy popełniane przy pomiarach. Wydaje się, że rozrzut z tych powodów jest bardzo mały.

2.8. Wnioski i uwagi

Wykorzystując otrzymane dotąd wyniki badań, można podjąć się próby określenia ogólnych warunków, jakie powinny być spełnione, aby otrzymać maksymalną odporność na oddzieranie obwodowe. Główne z tych warunków są następujące:

- duża adhezja utwardzonej żywicy epoksydowej do powierzchni roboczej próbki,
- duża kohezja utwardzonej żywicy,
- duża adhezja utwardzonej żywicy do powierzchni włókien szklanych,
- całkowite przesylenie tkaniny nieutwardzonym tworzywem,
- duża sztywność nakładki,
- stosunkowo mały współczynnik sprężystości utwardzonej żywicy,
- duża wytrzymałość mechaniczna tkaniny,
- w nakładkach wielowarstwowych przesuwanie o pewien kąt względem siebie, poszczególnych warstw tkaniny.

Z powyższego wynika, że nie wszystkie wymienione warunki mogą być spełnione jednocześnie, niektóre z nich są bowiem wzajemnie przeciwstawne. Można jednak wskazać kierunki działania zmierzające

do spełnienia ich w jak największym stopniu. Ważniejsze z nich są następujące: a/ rozwiązanie różnych problemów konstrukcyjnych naprawy np. obliczenia kształtu i wymiarów nakładki, b/ właściwy dobór rodzaju tworzywa epoksydowego, rodzaju tkaniny lub maty, sposobu ich dociskania i przesycania, liczby warstw tkaniny lub maty w nakładce, jak również dobór warunków utwardzania tworzywa.

Przedstawione badania rozpoznawcze procesu oddzierania obwodowego oraz badania zależności odporności na oddzieranie obwodowe od: rodzaju tworzywa epoksydowego, rodzaju tkaniny i maty, liczby warstw tkaniny i maty w nakładce, jak również dokładności dozowania żywicy i utwardzacza, pozwoliły na dokładniejsze poznanie procesu oddzierania obwodowego oraz w pewnym stopniu na jego optymalizację wielokryterialną. Starano się to przeprowadzić w zakresie koniecznym dla osiągnięcia celu pracy. Szczegółowe wnioski podawano po każdym badaniu.

Na podstawie opisanych w niniejszym rozdziale badań doświadczalnych i rozważań teoretycznych, można wysunąć następujące ważniejsze wnioski o charakterze ogólniejszym.

1. Zaproponowana metoda oddzierania obwodowego, wywołanego siłą skupioną, która dość wiernie odtwarza rzeczywiste warunki pracy elementów epoksydowych stosowanych w naprawie maszyn, okazała się metodą, pozwalającą na dokładniejsze poznanie zjawisk zachodzących pod obciążeniem w elementach epoksydowych i scharakteryzowanie współdziałania pod obciążeniem, związanej trwale pary materiałowej: tworzywo epoksydowe - materiał przedmiotu naprawianego. Zjawiska zachodzące przy oddzieraniu obwodowym są niewątpliwie nie zwykle skomplikowane.
2. W procesie oddzierania obwodowego rozkład naprężeń powstających od statycznej siły oddzierającej jest nierównomierny po obwodzie. Oprócz tego występują zawsze spiętrzenia naprężeń po promieniu. Stopień nierównomierności i spiętrzenia naprężeń zależy przede wszystkim od: rodzaju użytej żywicy, utwardzacza i modyfikatorów, rodzaju tkaniny lub maty szklanej, liczby warstw tkaniny lub maty w nakładce i wzajemnego usytuowania ich włókien oraz przesycenia warstw tkaniny lub maty nieutwardzonym tworzywem epoksydowym.
3. Istotną, o charakterze dominującym, rolę odgrywają w procesie oddzierania obwodowego, zjawiska zachodzące między powierzchnią tarczy próbki i utwardzoną żywicą epoksydową, nakładki epoksydowo-szklanej. Nieco mniejszą, ale również istotną, rolę odgrywa współdziałanie pod obciążeniem, utwardzonej żywicy epoksydowej i zespolonych z nią włókien szklanych, występujących w postaci tkanin lub mat, tworzących nakładkę.

Zatem badania wykazały niektóre cechy znamienne procesowi odziania obwodowego, szczególnie naświetliły zjawiska zachodzące pod obciążeniem w elementach epoksydowych oraz scharakteryzowały współdziałanie pod obciążeniem złączonej pary materiałowej: tworzywo epoksydowe - materiał przedmiotu naprawianego. Pod tym względem cel badań przedstawionych w niniejszym rozdziale, został w zasadzie osiągnięty. Wyniki badań pozwalają na przystąpienie do kolejnego etapu pracy - badań eksploatacyjnych.

Rozdział 3

BADANIA EKSPLOATACYJNE

3.1. Wstęp

Zwykle po badaniach laboratoryjnych prowadzi się badania na modelach /badania modelowe/, a w dalszej kolejności badania eksploatacyjne. W niniejszej pracy postanowiono jednak nie wykonywać badań modelowych w tradycyjnym układzie. Takie postępowanie jest uzasadnione tym, że prowadzenie badań modelowych w laboratorium, ujętych zarówno klasycznie-deterministycznie, jak i nowocześnie-probabilistycznie, w warunkach znacznie zbliżonych do rzeczywistych warunków pracy naprawianych elementów w czasie ich eksploatacji, jest długotrwałe, bardzo trudne, a w niektórych przypadkach obecnie wręcz niemożliwe. Badania modelowe, jak wiadomo, wymagają stosowania wielu specjalnie budowanych urządzeń, gwarantujących żądane podobieństwo fizyczne, zgodnie z zasadami teorii podobieństwa. Poza tym prowadzenie badań modelowych wymagałoby znacznej rozbudowy istniejącego laboratorium, zarówno jeżeli chodzi o wyposażenie jak i powierzchnię, co było nierealne.

3.2. Metodyka i warunki badań

Aby przeprowadzić badania eksploatacyjne, trzeba najpierw podać chociażby zręby dokładniejszych podstaw teoretycznych i doświadczalnych wykorzystania tworzyw epoksydowych w naprawie maszyn. Próba podania owych podstaw, podjęta na podstawie wyników przeprowadzonych badań laboratoryjnych, a także wiadomości z literatury dotyczących własności tworzyw epoksydowych, analizy wybranych elementów nauki o eksploatacji i niezawodności maszyn oraz nauki o tarciu i zużyciu, została przedstawiona w następujących punktach tego rozdziału. Jednocześnie zaproponowano koncepcję różnych rozwiązań technologicznych i konstrukcyjnych w procesie naprawy przy wykorzystaniu tworzyw epoksydowych, ze wskazaniem na podstawy do optymaliza-

cji tych rozwiązań. Wykorzystano również przy tym wyniki badań i rozważań wstępnych [82, 83,] nie przytaczanych w niniejszej pracy, które dały ogólne rozeznanie tego zagadnienia.

Badania eksploatacyjne miały za cel potwierdzenie wyników badań laboratoryjnych, sprawdzenie poprawności dociekań dotyczących podstaw teoretycznych i doświadczalnych wykorzystania tworzyw epoksydowych w naprawie maszyn oraz wreszcie wyznaczenie stopnia ich przydatności praktycznej.

Badania eksploatacyjne przedstawione w niniejszej pracy objęły trzy podstawowe elementy, a mianowicie: a/ naprawę doświadczalną, b/ eksploatację nazwaną umownie eksperymentalną, oraz c/ kontrolę, analizę i wnioski.

Naprawę doświadczalną i eksploatację eksperymentalną wykonywano według następującego schematu:

- 1/ Wykonanie naprawy kilkunastu identycznych elementów maszynowych zużytych lub uszkodzonych w podobny sposób. Dla każdego przedmiotu naprawianego prowadzono szczegółową dokumentację naprawy, przede wszystkim w postaci przeprowadzanych obliczeń wytrzymałościowych oraz dokładnego opisu technologicznego naprawy ze zdjęciami elementu na ogół przed i po naprawie.
- 2/ Przekazanie przedmiotów naprawionych do montażu i po przeprowadzeniu regulacji, prób ruchowych itp. maszyny, w skład której wchodziły, przekazanie dalej do eksploatacji eksperymentalnej w ramach maszyny. Starano się, aby identyczne przedmioty naprawione były eksploatowane w określonych odmiennych warunkach, ale zawsze zgodnych z warunkami przewidzianymi dla maszyn, w skład których wchodziły, podawanymi przez producenta.
- 3/ Prowadzenie przez użytkownika maszyny w czasie eksploatacji tzw. "Karty badań eksploatacyjnych". Karta ta miała różną postać w zależności od tego, jaki był charakter eksploatacji i jak był poziom ogólny, a zwłaszcza techniczny użytkownika. Zawsze jednak Karta zawierała trzy elementy: a/ dane ogólne /np. nazwę i numer naprawionego elementu maszynowego, nazwę i numer maszyny w składów element wchodził, nazwę użytkownika, miejsce eksploatacji/, b/ wielkość liczbowa charakteryzującą przebieg eksploatacji /czas eksploatacji lub drogę przebytą przez maszynę od czasu montażu/ oraz warunki eksploatacji i wreszcie c/ uwagi o eksploatacji.

Co pewien czas, najczęściej co pół roku, przeprowadzano kontrolę przebiegu eksploatacji. W czasie kontroli dokonywano oględzin zewnętrznych elementów epoksydowych i o ile było to możliwe oceniano stopień ich zużycia lub uszkodzenia, głównie poprzez pomiary liniowe. Wyniki kontroli odnotowywano w odnośnych protokołach. Kontrolowano również rzetelność prowadzenia Karty.

Otrzymane rezultaty poddawano szczegółowej, krytycznej analizie, konfrontowano z przebiegiem i warunkami wykonania naprawy doświadczalnej i wreszcie wyciągano odpowiednie wnioski.

3. 3. Rozwiązania technologiczno-konstrukcyjne w procesie naprawy przy wykorzystaniu tworzyw epoksydowych

Na podstawie rozważań teoretycznych dotyczących mechanizmu i przyczyny zużycia lub uszkodzenia elementów maszyn oraz obserwacji i dociekań odnośnie do kształtu, rozległości, umiejscowienia, jak również struktury rzeczywistego zużycia lub uszkodzenia elementów maszyn, dochodzi się do stwierdzenia, że ogół elementów, które można naprawiać przy zastosowaniu tworzyw epoksydowych, daje się podzielić na dwie zasadnicze grupy. Pierwsza grupa to elementy, w których nastąpiło rozdzielenie materiału przez pęknięcie lub złamanie, spowodowane: oddziaływaniem mechanicznym typu uderzeniowego, nadmiernym wzrostem ciśnienia czynnika roboczego i innymi przyczynami. Druga grupa to elementy, w których nastąpił ubytek materiału wywołany przez: tarcie, korozję, erozję, kawitację, oddziaływanie mechaniczne typu uderzeniowego i inne przyczyny.

W obu grupach trzeba stosować odmienne rozwiązania technologiczno-konstrukcyjne w procesie naprawy przy wykorzystaniu tworzyw epoksydowych, zapewniające żądaną funkcjonalność, niezawodność i trwałość przedmiotu naprawionego w czasie eksploatacji. Na rozwiązanie te wpływają przede wszystkim: a/ kształt i rozległość zużycia lub uszkodzenia, ich umiejscowienie na elemencie /kształt geometryczny elementu w miejscu zużycia lub uszkodzenia/, jak również ich struktura, b/ rodzaj i wartość przenoszonych obciążeń zewnętrznych w miejscu naprawianym w czasie eksploatacji elementu oraz c/ możliwości wykonawcze. Na rozwiązania te wpływają również przyczyny fizyczne i fizykochemiczne, powodujące zużycie lub uszkodzenie przedmiotów.

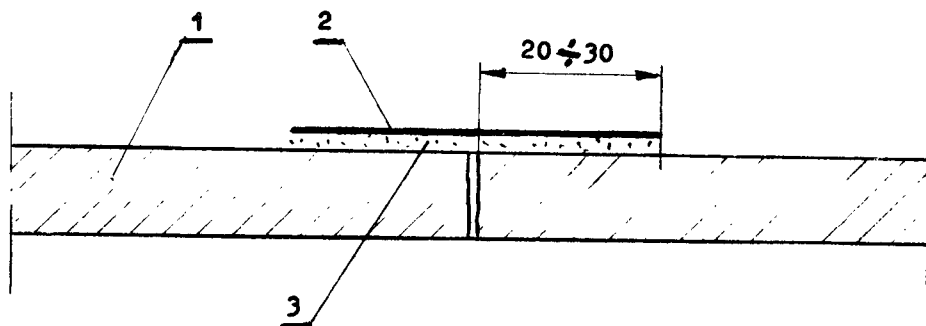
Poniżej zostaną podane, w miarę możliwości zwięźle, zasady naprawy przy wykorzystaniu tworzyw epoksydowych, na podstawie wyników badań podanych w rozdziale 2, badań i doświadczeń własnych z przedsiębiorstw, w których stosuje się tworzywa epoksydowe oraz krytycznej analizy nielicznych informacji z literatury o pomyslnych zastosowaniach tworzyw epoksydowych w naprawie maszyn. Szczegółowy opis wraz z innymi danymi o znaczeniu praktycznym, potrzebnymi do przeprowadzania naprawy można znaleźć m. in. w książce autora [93].

3. 3. 1. Zasady naprawy elementów maszyn z rozdzieleniem materiału

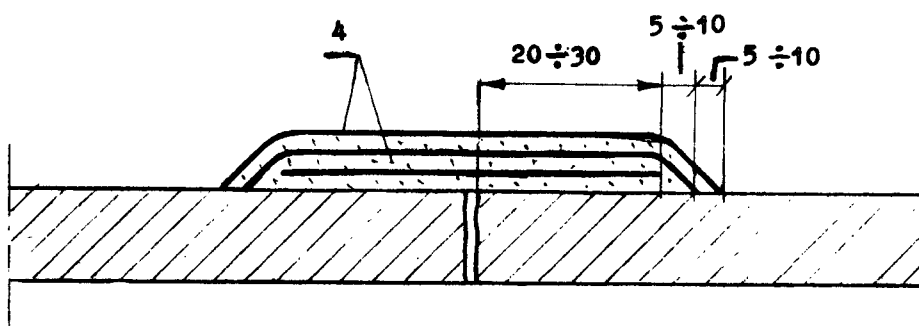
Elementy maszyn z rozdzieleniem materiału o małej rozległości w stosunku do wymiarów przedmiotu, w miejscach nie przenoszących obciążeń zewnętrznych lub przenoszących małe obciążenia, z zasady naprawiać można przez kitowanie. Kitem wypełnić trzeba rowek w kształcie litery "V", wykonany wzdłuż rozdzielenia i otwory wywiercone na jego końcach, starając się kit tak wcisnąć, aby w największym stopniu usunąć powietrze z nierówności powierzchni i szczelin. Celem jest przed wypełnieniem rowka kitem, powlec przygotowaną powierzchnię klejem, bowiem w ten sposób zapewnia się większy stopień zwilżania powierzchni i co za tym idzie - większą adhezję.

Przedmioty cienkościennie /np. z blachy/ z pęknięciami niezależnie od ich rozległości można naprawiać przez klejenie lub klejenie połączone z laminowaniem /nawarstwianiem/. Wykonanie rowka wzdłuż pęknięcia jest ze względów wykonawczych utrudnione lub wręcz niemożliwe, wiercić można tylko otwory na końcach pęknięć. Przygotowaną powierzchnię powleka się klejem i nakłada na nią wykrój z tkaniny o kształcie i powierzchni pola wynikających z kształtu i rozległości pęknięcia tak, aby wykrój obejmował pęknięcie i pas materiału o pewnej szerokości wokół pęknięcia. Doświadczalnie stwierdzono, iż szerokość tego pasa na ogół nie musi być większa niż 20×30 mm. Tkaninę dociska się do powierzchni i przesyca klejem, otrzymując nakładkę jednowarstwową. Można nakładać wykroje z tkaniny z dwóch stron ścianki przedmiotu, co jest w praktyce uwarunkowane możliwością odpowiedniego dojścia do miejsca zużytego lub uszkodzonego. Jeżeli ze względów wytrzymałościowych lub innych jedna warstwa tkaniny nie wystarcza, liczbę warstw można zwiększyć, stosując nakładki dwu-, trój- i ewentualnie czterowarstwowe. Z badań opisanych w u. 2. 6. 4. wynika bowiem, że odporność na oddzieranie obwodowe nakładki wzrasta ze zwiększaniem się liczby warstw tkaniny w nakładce. Nakładek z większą liczbą warstw tkaniny na ogół nie stosuje się, gdyż powyżej 3÷4 warstw nakładka ma już znaczną grubość, co ze względów estetycznych jest często nie do przyjęcia, np. w przypadku naprawy nadwozi samochodów osobowych. Przy nakładaniu warstwy drugiej i następnych wykonuje się laminowanie. Wykrój następny powinien być większy niż poprzedni o około 10×20 mm. Każdą warstwę zaleca się nakładać, dociskać i przesycać oddzielnie. Tego rodzaju naprawę przedstawiono schematycznie na rys. 31a, b.

Elementy maszynowe ze stosunkowo większymi pęknięciami lub złamaniami w miejscach przenoszących małe lub średnie obciążenia zewnętrzne, dają się naprawiać przez klejenie z kitowaniem lub klejenie połączone z laminowaniem i kitowaniem /rys. 32a, b/. Jest to

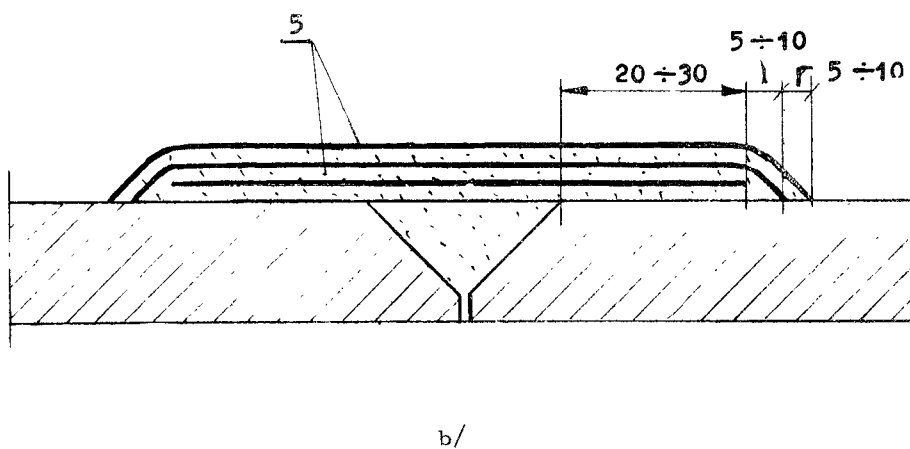
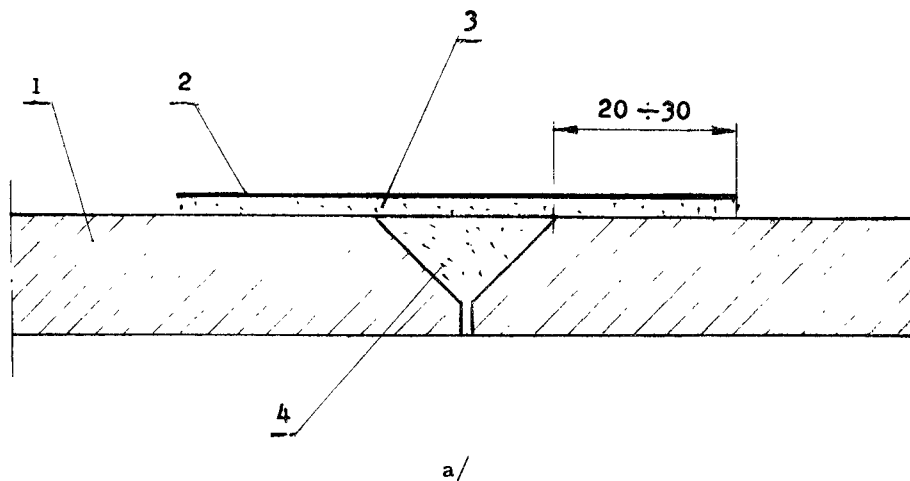


a/



b/

Rys. 31. Zasada naprawy przedmiotów cienkościennych z pęknięciami przez: a/ klejenie i b/ klejenie z laminowaniem; 1-materiał przedmiotu, 2-tkanina szklana, 3-klej epoksydowy, 4-nakładka trójwartościowa.

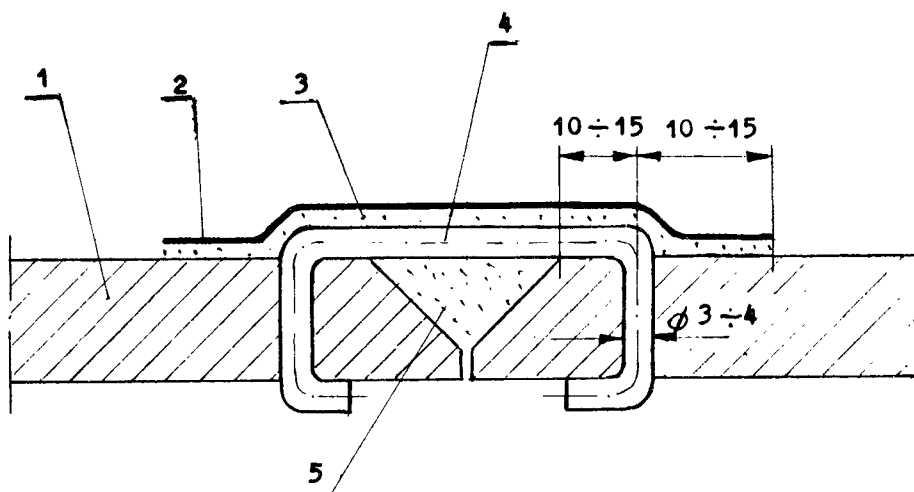


Rys. 32. Zasada naprawy przedmiotów, ze stosunkowo rozległym rozdzieleniem materiału, przez: a/ klejenie z kitowaniem i b/ klejenie połączone z laminowaniem i kitowaniem; 1-materiał przedmiotu, 2-tkanina szklana, 3-klej epoksydowy, 4-kit epoksydowy, 5-nakładka trójwarstwowa.

połączenie poprzednio opisanych sposobów. Najpierw wykonuje się kitowanie, a następnie z zasady nie czekając aż kit się utwardzi, przeprowadza się klejenie i ewentualnie laminowanie. Podczas dociskania i przesycania tkaniny należy uważać, aby nie uszkodzić nieutwardzonego kitu. Klejenie po częściowym utwardzeniu kitu, można przeprowadzić bez zachowania wspomnianej ostrożności, przedłuża ono jednak czas naprawy, a poza tym istnieje niebezpieczeństwo zanieczyszczenia powierzchni kitu i związana z tym konieczność jej oczyszczania.

W przypadkach przenoszenia większych obciążeń zewnętrznych lub przenoszenia obciążeń w warunkach niekorzystnych z punktu widzenia własności utwardzonych tworzyw epoksydowych, z reguły stosować należy metody kombinowane.

Pośród metod kombinowanych wyróżnić trzeba klejenie połączone z laminowaniem i kitowaniem z dodatkowym szyciem drutem, pokazane schematycznie na rys. 33. Drut ma spełniać rolę zbrojenia prze-



Rys. 33. Zasada naprawy przedmiotów, z rozdzielaniem materiału, przez klejenie z laminowaniem i kitowaniem z dodatkowym szyciem drutem: 1-materiał przedmiotu, 2-tkanina szklana, 3-klej epoksydowy, 4-drut, 5-kit epoksydowy.

noszącego w znacznym stopniu obciążenia oddzierające i rozciągające nakładkę. W pewnej odległości po obu stronach wykonanego wzdłuż rozdzielania rowka w kształcie litery "V", trzeba wywiercić otwory przelotowe o średnicy najczęściej 3±4 mm w odpowiedniej odległości od siebie /np. 40±50 mm/. Po przygotowaniu powierzchni w wywiercone otwory wstawia się oczyszczone i pokryte klejem strzemiona z drutu o średnicy odpowiadającej średnicy otworów i jeżeli jest to możliwe, wystające końce drutu zagina się parami do siebie z drugiej strony ścianki

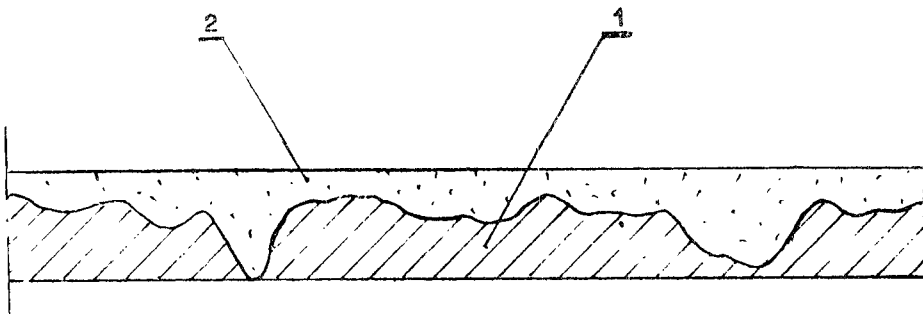
przedmiotu. Następnie przeprowadza się kitowanie, dalej klejenie oraz ewentualnie laminowanie w sposób wyżej opisany.

Inną metodą kombinowaną jest klejenie lub kitowanie albo też klejenie połączone z laminowaniem i kitowaniem, z dodatkowym spawaniem. Spoina ma przenosić obciążenia, a tworzywo epoksydowe głów - nie nieprzepuszczać cieczy lub gazu. Polega ona na wykonaniu rowka w kształcie litery "V" wzdłuż rozdzielenia materiału przedmiotu, spawaniu punktowym lub ciągłym wzdłuż rozdzielenia i następnym zastosowaniu tworzyw epoksydowych w sposób poprzednio opisany. Takie naprawy przeprowadzane niekiedy przez praktyków nie znalazły głębszego uzasadnienia teoretycznego oraz ekonomicznego, a metoda została zasygnalizowana tylko dla porządku.

3.3.2. Zasady naprawy elementów maszyn z ubytkami materiału

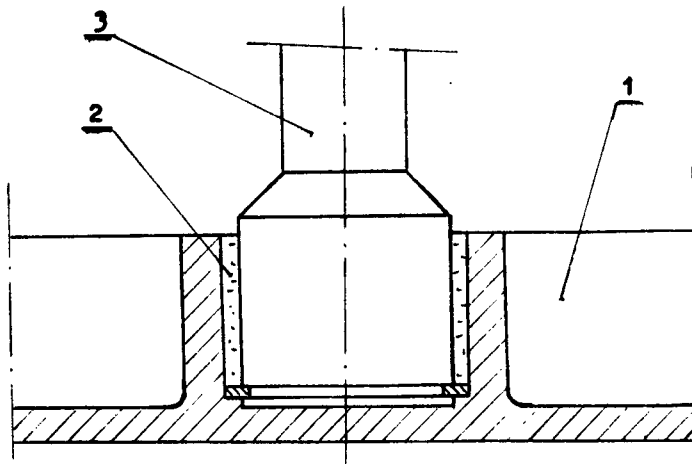
Elementy maszyn z powierzchniowymi ubytkami materiału spowodowanymi: tarciem, korozją, erozją, kawitacją, uderzeniem mechanicznym i innymi zużyciami lub uszkodzeniami z zasady można naprawić przez bezpośrednie kitowanie oraz odlewanie, klejenie, pokrywanie w kąpeli fluidalnej, natryskiwanie płomieniowe i bezpłomieniowe - uzupełniając tworzywem epoksydowym ubytki materiału przedmiotu.

W przypadku bezpośredniego kitowania, po przygotowaniu powierzchni ubytku, wypełnić trzeba go kitem, podobnie jak opisano to w poprzednim ustępie. Bezpośrednie kitowanie okazuje się odpowiednie nie tylko do ubytków powierzchniowych, ale również do bardzo małych ubytków na wskroś /otworów/. Czasami, w przypadku korozji ma się do czynienia z wżerami i przebiciami korozyjnymi, występującymi na całej rozpatrywanej powierzchni - przeprowadza się wówczas z powodzeniem bezpośrednio kitowanie powierzchniowe na całej powierzchni, uzupełniając w ten sposób ubytki materiału /rys. 34/.



Rys. 34. Zasada naprawy przedmiotów, z ubytkiem materiału na całej rozpatrywanej powierzchni, przez kitowanie powierzchniowe: 1- materiał przedmiotu, 2-kit epoksydowy.

Typowym przykładem zastosowania odlewania może być odlewanie /zalewania/ osadzeń pod łożyska toczne, które ulegają nadmiernej powiększaniu /rozbićiu/. Najpierw należy powiększyć przez skrawanie średnicę osadzenia do żądanej wartości, następnie w specjalnym przyrządzie-formie przeprowadza się odlewanie otworu. Po utwardzeniu i zdjęciu przyrządu z przedmiotem otrzymuje się osadzenie o właściwym kształcie i wymiarach oraz co jest istotne - bez dodatkowej wykańczającej obróbki skrawaniem - rys. 35.

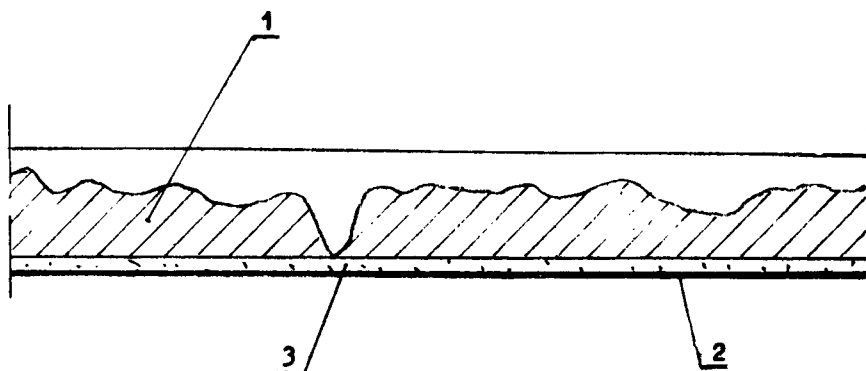


Rys. 35. Zasada naprawy przedmiotów, z ubytkami materiału, przez odlewanie: 1-przedmiot naprawiany, 2-tworzywo epoksydowe, 3-trzpień przyrządu-formy.

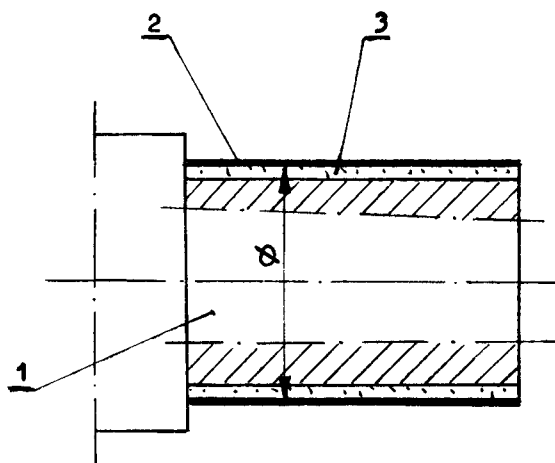
Klejenie stosuje się m. in. jako wklejanie łożysk tocznych oraz jako wklejanie tuleji. Pierwszy przypadek jest niejako "konkurencyjny" w stosunku do odlewania. Mianowicie okazuje się, iż łożyska toczne można wklejać bezpośrednio w zużyte osadzenia wówczas, gdy nie zachodzi potrzeba zapewnienia dużej dokładności współosiowości łożyska i osadzania. Drugi przypadek zachodzi przy konieczności wymiany zużytych lub uszkodzonych tuleji na nowe.

Jeżeli kitowanie powierzchniowe jest niemożliwe do przeprowadzenia, np. ze względu na brak dogodnego dojścia do miejsca zużytego lub uszkodzonego /występuje to w przypadku samochodowych zbiorników paliwa i innych/, to zaleca się metodę, którą można nazwać "klejenie odwrócone". Polega ona na przyklejeniu nakładki jednowarstwowej /klejenie/ lub wielowarstwowej /lejenie z laminowaniem/, od strony nieskorodowanej ścianki przedmiotu - rys. 36.

Klejenie w połączeniu z laminowaniem po obwodzie, /nawijanie/ może mieć zastosowanie do naprawy elementów maszyn z zużytymi lub



Rys. 36. Zasada naprawy przedmiotów, z ubytkami materiału, przez klejenie odwrócone: 1-materiał przedmiotu, 2-tkanina szklana, 3-klej epoksydowy.



Rys. 37. Zasada naprawy przedmiotów, z zużytymi czopami, przez klejenie z laminowaniem po obwodzie: 1-czop, 2-tkanina bawełniana, 3-klej epoksydowy.

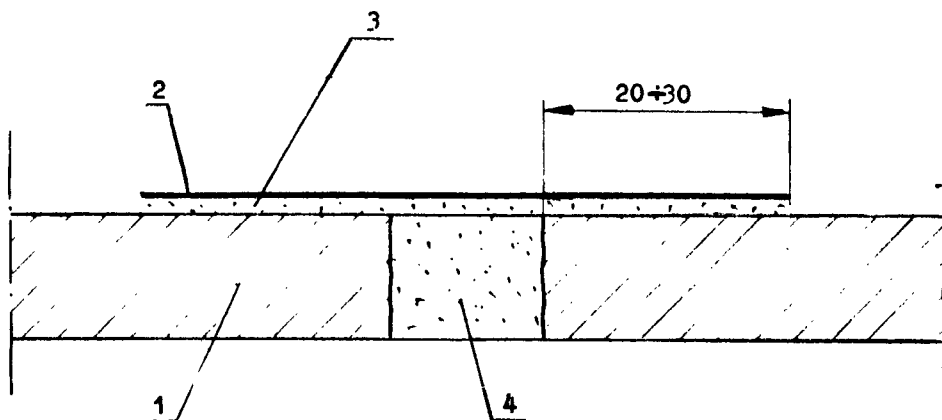
uszkodzonymi czopami łożysk ślizgowych - rys. 37. Po obróbce skrawaniem czopu na żadaną mniejszą od nominalnej średnicę, nawija się na czop tkaninę bawełnianą przesyconą tworzywem epoksydowym z napełniaczem niskotarciowym /przeciwciernym/ np. dwusiarczkiem molibdenu lub olejem silikonowym. Pierwszą warstwę nawija się bez napełniacza. Utwardzone tworzywo obrabiać należy wykańczająco przez skrawanie, otrzymując czop o właściwym kształcie i wymiarach. Warunki skrawania można dobrać wykorzystując wiadomości podane w literaturze np. w pracy R. Kolmana i R. Sikory [32]. Metodę opracował teoretycznie i doświadczałnie Z. Lisowski [39], który również ją opatentował [40].

Pokrywanie w kąpeli fluidalnej, natryskiwanie płomieniowe i bezpłomieniowe, okazują się wygodne w stosowaniu wówczas, gdy powierzchnie zużyte lub uszkodzone są duże w stosunku do całkowitej powierzchni przedmiotu np. w przypadku powierzchni roboczej nurników. Przez obróbkę skrawaniem otrzymuje się żądane wymiary mniejsze od nominalnych, następnie nanosi się powłokę z tworzywa epoksydowego jedną z wymienionych metod, najczęściej przez pokrywanie w kąpeli fluidalnej. Po utwardzeniu powłoki, wykonuje się wykańczającą obróbkę skrawaniem.

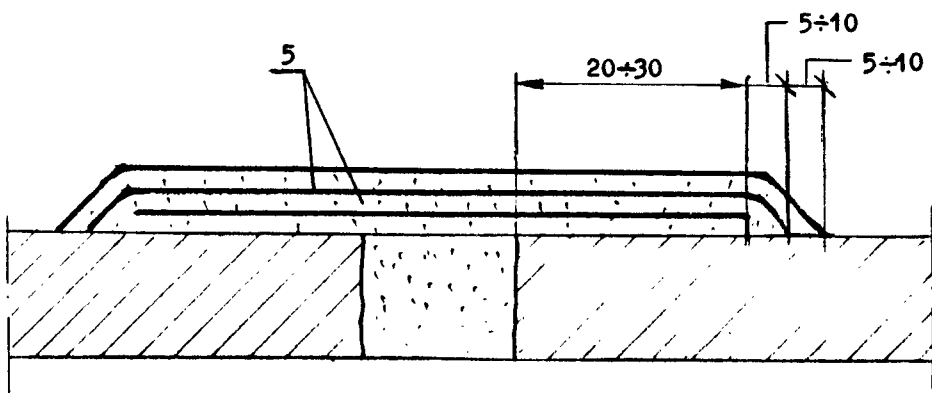
Przedmioty z ubytkami materiału na wskroś /otworami/ dają się naprawiać przez klejenie z laminowaniem, klejenie z kitowaniem oraz klejenie połączone z laminowaniem i kitowaniem.

Przedmioty cienkościennie z bardzo małymi, małymi i niekiedy średnimi ubytkami materiału na wskroś w stosunku do wymiarów przedmiotu, w miejscach przenoszących małe obciążenia zewnętrzne, można z zasady naprawiać przez klejenie połączone z laminowaniem. Przygotowaną powierzchnię powleka się klejem, nakłada na nią wykrój z tkaniny tak, aby obejmował uszkodzenie i pas materiału szerokości najczęściej 20÷30 mm wokół niego. Następnie przeprowadza się laminowanie w sposób poprzednio opisany.

Elementy maszynowe ze stosunkowo małymi ubytkami materiału na wskroś w miejscach przenoszących małe lub średnie obciążenia zewnętrzne, naprawiać można z reguły przez klejenie z kitowaniem - rys. 38a. Po przygotowaniu powierzchni ubytku oraz pasa materiału wokół niego, ubytek wypełnia się kitem, przykładając uprzednio od strony przeciwnej, na czas kitowania i klejenia, nakładkę z blachy pokrytej środkiem przeciwprzyczepnym /np. pastą silikonową/. Niekiedy powierchnię wokół ubytku i powierzchnię kitu zabezpiecza się przed zanieczyszczeniem przez osiągnięcie papierem, tkaniną itp. i przeprowadza częściowe utwardzenie kitu. Z kolei powierzchnię kitu powleka się klejem, nakłada na nie wykrój z tkaniny obejmujący powierzchnię kitu i pas materiału wokół niego o szerokości na ogół 20÷30 mm, otrzymując nakładkę jednowarstwową. O ile jest dogodnie dojście do miejsca naprawy, tkaninę można przyklejać z obu stron ścianki przedmiotu.



a/

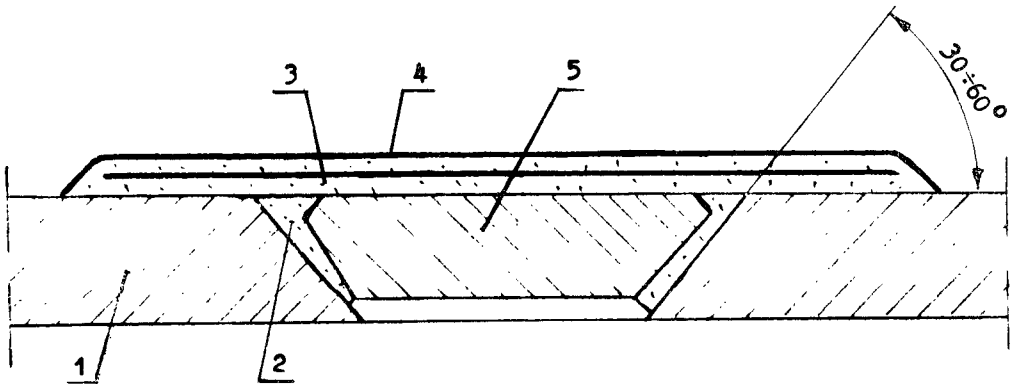


b/

Rys. 38. Zasady naprawy przedmiotów, ze stosunkowo małymi ubytkami materiału na wskroś, przez: a/ klejenie z kitowaniem i b/ klejenie połączone z laminowaniem i kitowaniem; 1-materiał przedmiotu, 2-tkanina szklana, 3-klej epoksydowy, 4-kit epoksydowy, 5-nakładka trójwarstwowa.

Można również stosować klejenie połączone z laminowaniem i kitowaniem w sposób uprzednio opisany /rys. 38b/.

Elementy maszyn ze stosunkowo większymi ubytkami materiału na wskroś, np. spowodowanymi oddziaływaniem mechanicznym typu uderzeniowego, w miejscach przenoszących małe lub średnie obciążenia zewnętrzne, naprawiać można skutecznie przez klejenie połączone z laminowaniem i kitowaniem oraz wstawianiem wkładki metalowej. Na przygotowaną powierzchnię ubytku /otworu-wyrwania/ nakłada się kit i następnie wciska dopasowaną i oczyszczoną wkładkę metalową tak, aby powierzchnia zewnętrzna wkładki tworzyła w przybliżeniu wspólną powierzchnię z przedmiotem. Po usunięciu wyciśniętego kitu, nie czekając aż kit się utwardzi, powleka się klejem powierzchnie wkładki i pas materiału wokół wkładki oraz nakłada wykrój z tkaniny w ten sposób, aby obejmował wkładkę i pas materiału wokół niej o szerokości na ogół 20÷30 mm, otrzymując nakładkę jednowarstwową. W przypadku nakładek wielowarstwowych, warstwy następne uzyskuje się przez laminowanie, postępując w sposób poprzednio opisany. Ze względu na rozszerzalność cieplną, materiał wkładki powinien być taki sam lub zbliżony do materiału przedmiotu naprawianego. Schematycznie tego rodzaju naprawę pokazano na rys. 39.



Rys. 39. Zasada naprawy przedmiotów, ze stosunkowo większymi ubytkami na wskroś, przez klejenie z laminowaniem i kitowaniem oraz wstawianiem wkładki metalowej: 1-materiał przedmiotu, 2-kit epoksydowy, 3-klej epoksydowy, 4- tkanina szklana, 5-wkładka metalowa.

Do metod kombinowanych zaliczyć można klejenie lub kitowanie albo też klejenie połączone z laminowaniem i kitowaniem, z dodatkowym spawaniem /podobnie jak w poprzednim ustępie/. Wkładkę metalową, przygotowaną w opisany sposób, spawana się punktowo lub ciągle

z materiałem przedmiotu i następnie stosuje tworzywa epoksydowe w sposób podany wyżej. Metoda ta została zasygnalizowana tylko dla porządku, bowiem nie znalazła ona głębszego uzasadnienie teoretycznego i ekonomicznego, a przeprowadzana jest niekiedy przez praktyków.

Trzeba też dla porządku odnotować metodę kombinowaną, zalecaną przez firmę Metallit-Verwaltungsgesellschaft m. b. H. [72] oraz metodę polegającą na klejeniu z nakładką metalową lub klejeniu z nakładką połączonemu z laminowaniem, podaną w Instrukcji [11] opracowanej w Wojskowym Instytucie Techniki Pancernej i Samochodowej.

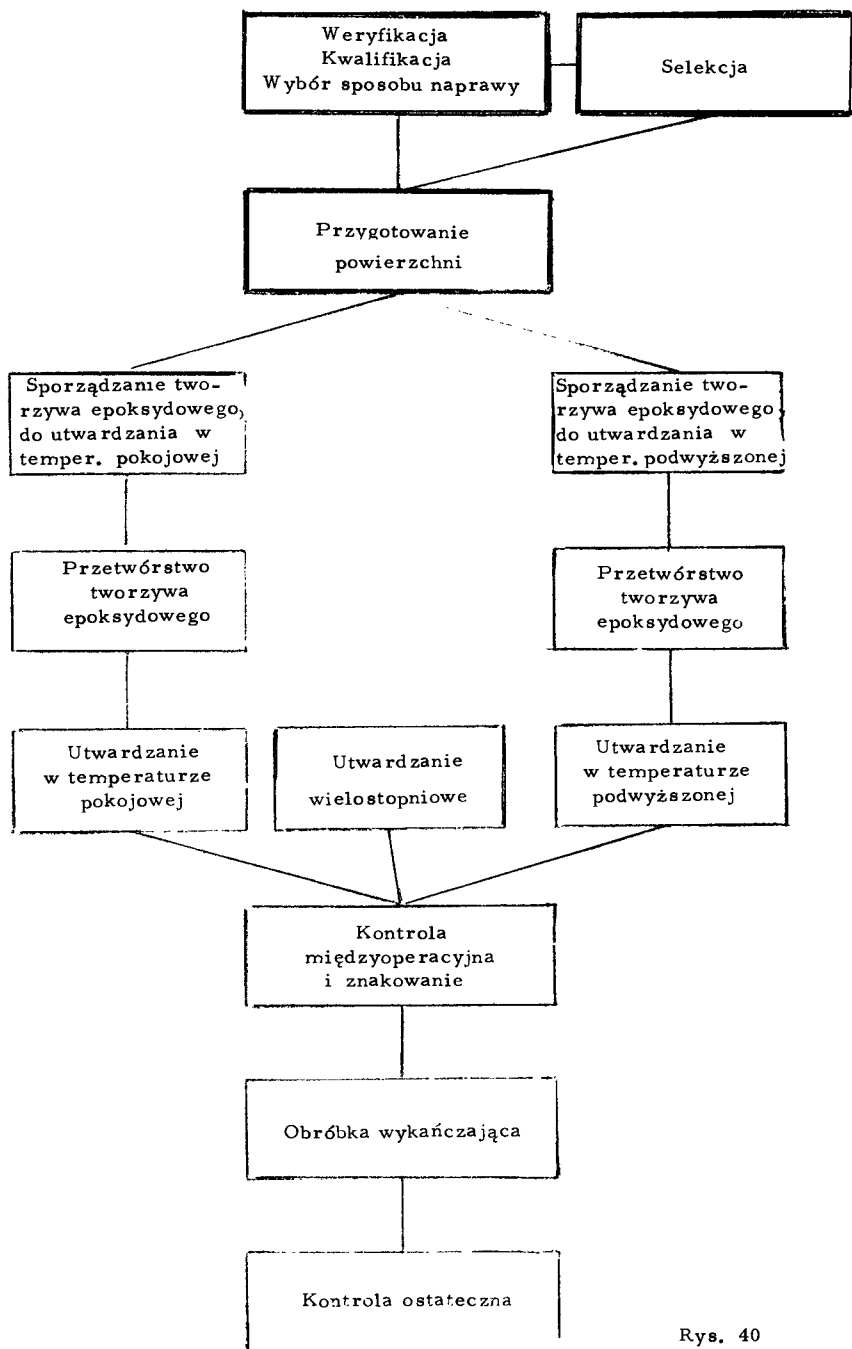
3. 4. Ogólny proces technologiczny naprawy przy wykorzystaniu tworzyw epoksydowych

Proces technologiczny naprawy przy wykorzystaniu tworzyw epoksydowych obejmuje w ogólnym ujęciu następujące operacje podstawowe /rys. 40/:

- 1/ badanie i ocenę stopnia zużycia lub uszkodzenia przedmiotów /tzw. weryfikację zużytych lub uszkodzonych przedmiotów/, połączone z ich kwalifikacją i wyborem sposobu naprawy,
- 2/ selekcję przedmiotów zakwalifikowanych do naprawy na grupy przedmiotów technologicznie podobnych,
- 3/ przygotowanie powierzchni przedmiotów do łączenia z tworzywem epoksydowym,
- 4/ sporządzanie tworzywa epoksydowego,
- 5/ przetwórstwo tworzywa epoksydowego /klejenie, kitowanie, laminowanie, odlewanie, fluidyzacja itp./,
- 6/ utwardzanie tworzywa epoksydowego,
- 7/ kontrolę międzyoperacyjną i znakowanie przedmiotów naprawianych,
- 8/ obróbkę wykańczającą miejsca naprawianego,
- 9/ kontrolę ostateczną przeprowadzanej naprawy.

Współzależności występujące między operacjami procesu technologicznego naprawy, starano się przedstawić na rys. 40. Jak widać, jest on /proces/ zgodny z prawami technologii budowy maszyn, z tym uzupełnieniem, że obejmuje kilka operacji i zabiegów nie mających odpowiedników w produkcji wyrobów nowych. Owe specyficzne operacje i zabiegi wynikają z różnicy celów i warunków przeprowadzania naprawy przedmiotów zużytych lub uszkodzonych i ich produkcji. Przebieg oraz organizacja procesu technologicznego naprawy zależą przede wszystkim od tego, czy tworzywa epoksydowe stosuje się w przypadku zużyć awaryjnych /uszkodzeń/ czy też stosuje się je w przypadku zużyć ciągłych.

Naprawę awaryjną przeprowadza się z zasady w jednostkach, w których awaria nastąpiła, przy czym chodzi najczęściej o to, aby na -



Rys. 40

Rys. 40. Schematyczne przedstawienie procesu technologicznego naprawy przy wykorzystaniu tworzyw epoksydowych.

prawę przeprowadzić w czasie najkrótszym i jak najszybciej od chwili wystąpienia awarii. Naprawa taka wykonywana była np. przez załogi okrętów bez zawijania do portów i przez mechaników sprzętu rolniczego w czasie żniw bez transportu sprzętu do warsztatów naprawczych. Wydaje się dobrym rozwiązaniem technicznym i organizacyjnym, wyposażyć jednostki, w których przeprowadza się naprawę, we wspomniane już zestawy naprawcze. W zestawach tych winny znajdować się niezbędne materiały i narzędzia do przeprowadzania naprawy metodami najczęściej stosowanymi w przypadku awarii, umieszczone w przenośnej, podręcznej skrzynce/walizce/, z reguły w odniesieniu do określonej grupy maszyn. Stąd na przykład nazwa "Okrętowy zestaw naprawczy" [71, 113, 117, 119]. Poza tym w zestawach znajduje się instrukcja, dotycząca sposobu użytkowania zestawu, stanowiąca jednocześnie całość podręcznej dokumentacji technologicznej i konstrukcyjnej. Pracownik wykonujący naprawę w dużym stopniu zdany jest na własną inicjatywę, wykorzystując dostępne środki w danej chwili i w danych warunkach. Ponieważ pracownik często nie ma specjalnego przeszkolenia w zakresie wykończenia tworzyw epoksydowych w naprawie maszyn i również wykonuje czynności zmierzające do usunięcia nie tylko skutków awarii ale też i jej przyczyny, jakość przeprowadzanych napraw niekiedy jest nienajlepsza. Należy dodać, iż ze względu na warunki, jakie stawiane są procesowi technologicznemu naprawy, częstokroć sprawy jakości, trwałości i niezawodności nie stanowią problemu centralnego. Zresztą często w przypadkach naprawy awaryjnej nie potrzeba przeprowadzać jej tak, aby element mógł pracować do najbliższej naprawy zespołu w skład którego wchodzi lub naprawy całej maszyny albo dłużej, a chodzi o wykonanie naprawy doraźnej, np. na morzu - aby okręt dopłynął bez pomocy innych jednostek możliwie szybko do najbliższego portu, w polu podczas żniw - aby dokończyć akcję żniwną, w drodze - aby samochód dojechał do najbliższego warsztatu lub zakładu naprawczego.

Naprawy planowe /remonty planowo-zapobiegawcze/ przeprowadza się w przedsiębiorstwach naprawczych, najczęściej specjalistycznych, np. silników wysokoprężnych, wagonów kolejowych, obrabiarek itp. W czasie wykonywania naprawy wykorzystuje się odpowiednią dokumentację technologiczną o różnym stopniu szczegółowości informacji - podobnie jak w produkcji seryjnej małej i średniej wielkości. Ogólne zasady projektowania procesów technologicznych naprawy przez wykorzystanie tworzyw epoksydowych są tu takie same jak w odniesieniu do wytwarzania /produkcji/ wyrobów nowych z uwzględnieniem specyfiki procesów naprawczych. Szczegóły techniczne wraz z zasadami i wskazówkami praktycznymi można znaleźć m. in. w pracach autora, oznaczonych następującymi numerami porządkowymi wykazu literatury [82, 89, 90, 91, 93].

Istotnym i specyficznym zagadnieniem w procesie technologicznym naprawy przez wykorzystanie tworzyw epoksydowych jest weryfikacja zużytych lub uszkodzonych elementów maszyn i dlatego jej podstawy zostaną przedstawione szczegółowiej.

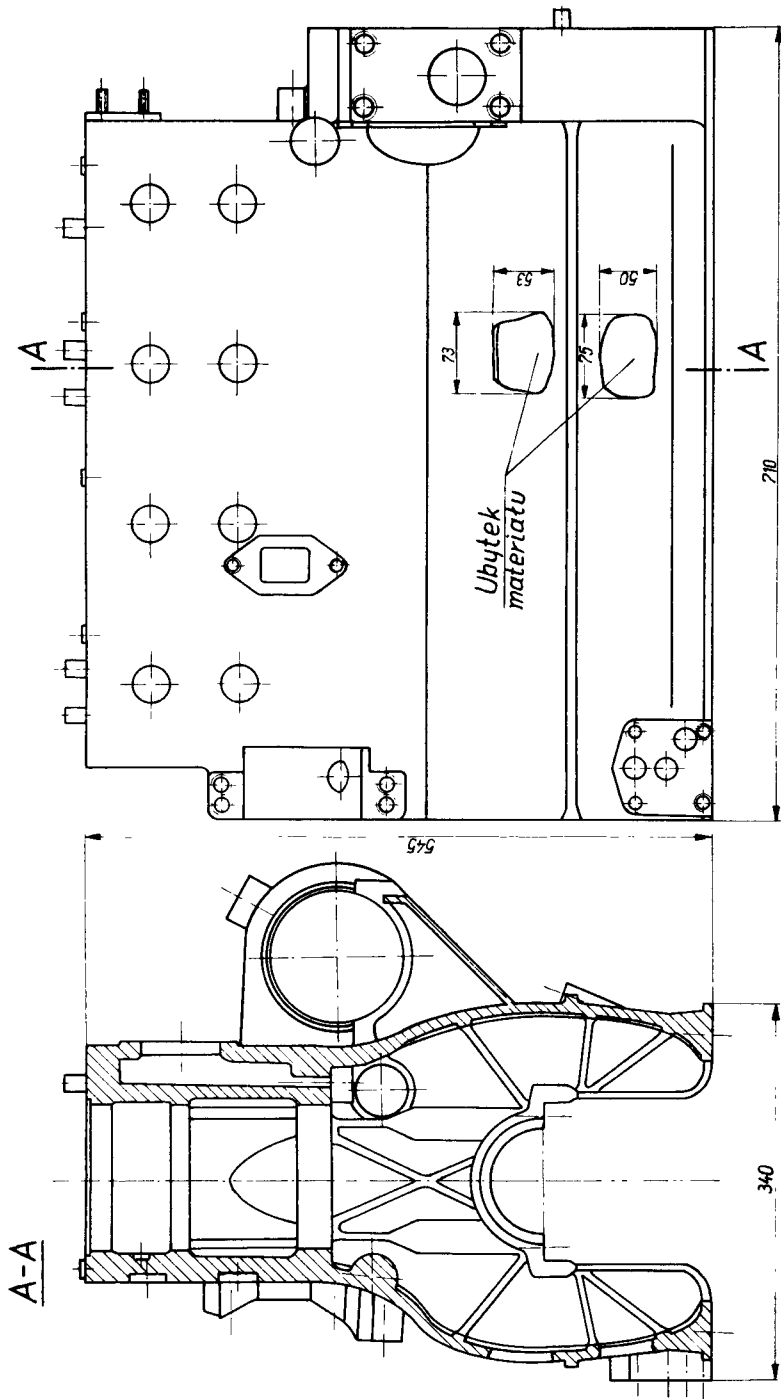
Weryfikacją w procesie naprawczym przyjęto umownie nazywać ogół czynności, mających na celu badanie i ocenę stopnia zużycia lub uszkodzenia przedmiotu. Nazwa "weryfikacja" budząca początkowo pewne zastrzeżenia, przyjęła się już jednak w nowszej literaturze [108, 109, 112]. Z weryfikacją nierozzerwalnie łączy się kwalifikacja, tj. zaliczanie przedmiotów o określonym stopniu zużycia lub uszkodzenia do odpowiedniej grupy przedmiotów /na podstawie kryterium stanów granicznych/, a z kwalifikacją ściśle wiąże się wybór sposobu naprawy.

Ogólnie ujmując, zużyte lub uszkodzone elementy maszynowe dzielić można na trzy grupy:

- 1/ elementy, które mogą być w dalszym ciągu eksploatowane bez przeprowadzania operacji naprawczych /regeneracyjnych/, tzn. elementy z zużyciami lub uszkodzeniami dopuszczalnymi,
- 2/ elementy zakwalifikowane do naprawy /regeneracji/, tzn. elementy z zużyciami lub uszkodzeniami naprawczymi,
- 3/ elementy, którym nie można przywrócić zdolności spełniania określonej funkcji użytkowej z przyczyn technicznych bądź ekonomicznych, albo jednych i drugich, tzn. elementy z zużyciami lub uszkodzeniami niszczącymi, przeznaczone na złom.

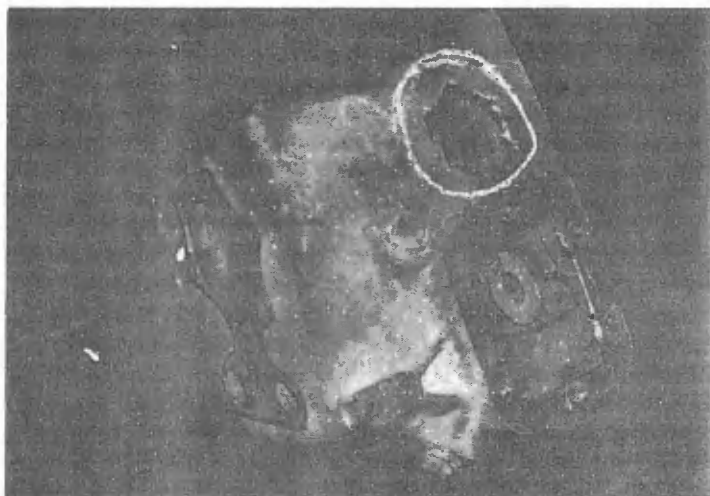
Zaliczanie elementów maszyn do grupy drugiej jest punktem wyjścia do stosowania tworzyw epoksydowych w ich naprawie. Trzeba zaznaczyć, że zagadnienia związane z weryfikacją są jednymi z trudniejszych zagadnień w naprawie maszyn. Poniżej zostaną zwięźle przedstawione dwie proponowane metody jej przeprowadzania: metoda obliczeniowa i metoda statystyczno-eksploatacyjna. Obie metody są szczególnie przydatne przy wykorzystywaniu tworzyw epoksydowych w naprawie maszyn, mogą jednak być również stosowane w przypadkach innych sposobów naprawy.

Metoda obliczeniowa. Metoda ta polega na wyko - naniu odpowiednich obliczeń wytrzymałościowych, zużyciowych, niezawodnościowych, technologicznych i innych, w celu badania i oceny analitycznej stopnia zużycia lub uszkodzenia przedmiotu. Ponieważ zużycia oraz uszkodzenia różnią się i to niekiedy bardzo znacznie kształtem, rozległością i umiejscowieniem na przedmiotach, jak również strukturą - nawet w grupie tych samych przedmiotów - należałoby zawsze od nowa wykonywać odnośne złożone obliczenia. Aby tego rodzaju obliczenia praktycznie przeprowadzać, trzeba znać wiele potrzebnych danych wyjściowych a przede wszystkim: warunki pracy naprawianego przedmiotu, szczególnie rodzaj i wartość naprężeń oraz sił występujących w miejscu zużycia lub uszkodzenia, jak również warunki pracy elementów epoksydowych, zwłaszcza dopuszczalne graniczne warunki pracy. Ani jedne, ani drugie warunki pracy nie są dokładnie znane; pierwsze dlatego, że z reguły jest niezwykle trudno je dokładnie podać np. jako wynik obliczeń, ze względu na niekompletność i często niedo-



Rys. 42. Korpus silnika wysokoprężnego "413" z uszkodzeniem spowodowanym oddziaływaniem mechanicznym typu uderzeniowego.

kładność dostępnych danych, a niekiedy wręcz na ich brak. Niedostateczna znajomość drugich wynika z braku odpowiednich danych, będących wynikami prac naukowych i wdrożeniowych, dotyczących własności tworzyw epoksydowych /p. 1.2./ . O stopniu trudności w podaniu warunków pracy w miejscu uszkodzonym mogą świadczyć przykłady przedmiotów pokazanych na rys. 41 i 42. Z rysunków widać, że są to



Rys. 41. Skrzynia przedkładniowa samochodu "Lublin" z uszkodzeniem spowodowanym oddziaływaniem mechanicznym typu uderzeniowego.

konstrukcje statycznie niewyznaczalne. Nieliczne dotychczasowe próby dokładnego poznania warunków pracy elementów epoksydowych nie dały zadowalających wyników, np. nie uzyskał takich wyników. Z. Zaczek [116], co wyraźnie w swej pracy podał i uzasadnił^{x/}. Metoda obliczeniowa nie znalazła zastosowania w dalszej części pracy.

Metoda statystyczno - eksploatacyjna.

W metodzie tej wykorzystuje się statycznie badania eksploatacyjne przedmiotów naprawianych doświadczalnie. Obejmuje ona następujące fazy.

^{x/} Rozważania podane w pracy oznaczonej numerem [116] można również znaleźć w pracy oznaczonej numerem [120].

- 1/ Wykonanie uproszczonych obliczeń, głównie wytrzymałościowych oraz w miarę możliwości zużyciowych i innych w celu wstępnego badania i wstępnej oceny analitycznej stopnia zużycia lub uszkodzenia przedmiotu. Obliczenia te przeprowadzać można wykorzystując dostępne, niepełne dane o własnościach tworzyw epoksydowych i warunkach pracy przedmiotu naprawianego w miejscu zużycia lub uszkodzenia. Warto tu dodać, że dążenia do uściślenia obliczeń prowadzą jak dotychczas do korzyści niewspółmiernie niskich w stosunku do zwiększonych nakładów pracy.
- 2/ Naprawa doświadczalna zużytych lub uszkodzonych przedmiotów według sposobu naprawy przyjętego na podstawie przeprowadzonych obliczeń i doświadczeń w zakresie warunków pracy elementów epoksydowych.
- 3/ Badania zachowania się przedmiotów naprawionych w czasie eksploatacji w warunkach powodujących przyspieszone zużycie lub w normalnych warunkach eksploatacji.

Na podstawie analizy prowadzonej dokumentacji dotyczącej obliczeń, sposobu naprawy i badań oraz wyniku tych badań można stwierdzić przede wszystkim, czy w danych warunkach, przedmioty o określonym zużyciu lub uszkodzeniu dają się z powodzeniem naprawiać zgodnie z zastosowanym sposobem naprawy. Oczywiście najczęściej nie przeprowadza się naprawy doświadczalnej pojedynczych przedmiotów, lecz całych ich serii i eksploatuje w określonych różnych warunkach. Otrzymuje się w ten sposób dane statystyczne, które w pewnym stopniu uogólniają, a z pewnością wzbogacają, dane wyjściowe do stosowania metody. Główną zaletą opisywanej metody jest duża wiarygodność uzyskanych wyników, a wadą - długi okres czasu, jaki mija od przeprowadzenia naprawy doświadczalnej do uzyskania wyników.

Obie przedstawione metody przeprowadzania weryfikacji zużytych lub uszkodzonych przedmiotów mogą być stosowane w zasadzie tylko w placówkach naukowo-badawczych i rozwojowych. W placówkach tych wykonuje się równoległe odpowiednie badania, których wyniki dają podstawy do szerszych i nowych zastosowań tworzyw epoksydowych w naprawie maszyn m. in. przez powiększanie zasobu wiadomości o warunkach pracy elementów epoksydowych. Jeżeli chodzi o metodę statystyczno-eksploatacyjną, to niekiedy badania przeprowadza się w przedsiębiorstwach i jednostkach w trakcie normalnej eksploatacji maszyn.

Wyniki otrzymane przez przeprowadzenie weryfikacji trzeba odpowiednio przystosować do celów praktyki. Wystarczająco dokładne i wygodne okazuje się opracowywanie ich w postaci tzw. instrukcji weryfikacji. W instrukcjach podaje się przede wszystkim, jakie przedmioty, z jakimi zużyciami lub uszkodzeniami przeznacza się do dalszej eksploatacji, do naprawy lub na złom. W odniesieniu do przedmiotów przerna-

czonych do naprawy podaje się szczegółowo: rozległość, kształt i umiejscowienie na przedmiocie dopuszczalnych zużyć oraz uszkodzeń z wskazaniem urządzeń, jak również narzędzi do ich badań i pomiarów. Określa się też sposób naprawy.

W niektórych przypadkach naprawy zaliczanie przedmiotu do dalszej eksploatacji, do naprawy lub na złom jest zupełnie oczywiste i nie potrzeba stosować metod weryfikacji. Występuje to najczęściej wówczas, gdy zużycia lub uszkodzenia przedmiotów są bardzo małe czy też bardzo duże. W pierwszym przypadku nie ma na ogół wątpliwości co do celowości dalszej eksploatacji lub naprawy, a w drugim - co do przeznaczenia na złom.

W wielu przypadkach zużyć lub uszkodzeń przedmiotów spotykanych w praktyce naprawy do przeprowadzenia weryfikacji według instrukcji, wystarczają dokładne oględziny okiem nieuzbrojonym lub za pomocą lupy. Niekiedy wątpliwości może budzić kształt i rozległość pęknięć. Stosować tu można różne zabiegi w celu wykrywania pęknięć, spośród których, ze względu na prostotę przeprowadzania i wiarygodność otrzymanych wyników, zalecane są znane: stosowanie nafty i kredy, metody defektoskopii /penetracji/ barwnej oraz metody fluoroscencji, jak też popularne próby wodne i powietrzne. Można również stosować metody magnetyczne, ultradźwiękowe i radiologiczne.

3. 5. Wyniki badań eksploatacyjnych

Przyjęto, że rezultaty rozważań i dociekań podanych dotąd w tym rozdziale, upoważniają do wykonania kolejnego kroku w kierunku osiągnięcia założonego celu pracy. Krokiem tym jest praktyczne przeprowadzenie naprawy doświadczalnej, eksploatacja, nazwana umownie eksperymentalną, przedmiotów naprawionych w określonych warunkach oraz obserwacja i ocena stopnia zużycia lub uszkodzenia elementów epoksydowych, zgodnie ze schematem podanym w p. 3.2. Zachodzi potrzeba określenia, co rozumie się pod pojęciem pomyślnego wyniku badań eksploatacyjnych. Otóż w niniejszej pracy wyniki badań eksploatacyjnych przyjęto za pomyślne wówczas, gdy funkcjonalność, trwałość i niezawodność przedmiotów naprawionych za pomocą tworzyw epoksydowych była co najmniej równa funkcjonalności, trwałości i niezawodności przedmiotów nowych. Uznano, iż pomyślne wyniki badań eksploatacyjnych są bardzo dobrym sprawdzianem stopnia poprawności i przydatności praktycznej uzyskanych rezultatów badań doświadczalnych i rozważań teoretycznych zarówno dotyczących oddzierania obwodowego, jak również dotyczących wykorzystania tworzyw epoksydowych w naprawie maszyn oraz koncepcji i optymalizacji rozwiązań technologiczno-konstrukcyjnych w procesie naprawy przy wykorzystaniu tych materiałów. Poza tym badania eksploatacyjne dostarczyły interesujących nowych danych o warunkach pracy elementów epoksydowych, tak potrzeb-

nych do przeprowadzania weryfikacji użytych lub uszkodzonych przedmiotów oraz dostarczyły bardziej uzasadnionych podstaw do usprawnienia procesów naprawczych.

Tok badań eksploatacyjnych pominięto. Wyniki niektórych badań eksploatacyjnych zestawiono zwięźle w tabl. 8. W tablicy podano wyniki badań prowadzonych od 1967 r., w odniesieniu do przykładowych konkretnych przedmiotów zużytych lub uszkodzonych. Nie oznacza to bynajmniej, że badania eksploatacyjne przeprowadzono na pojedynczych przedmiotach. Podane przedmioty jak i też zużycia lub uszkodzenia są bowiem charakterystyczne, przeciętnie występujące i reprezentują grupy przedmiotów z określonymi typami zużyć lub uszkodzeń. Ilość przedmiotów eksploatowanych w każdej grupie wynosiła od kilkunastu nawet do kilkudziesięciu. Przedmioty były eksploatowane w czasie normalnej pracy maszyn, w skład których wchodziły, przy czym funkcjonalność i trwałość przedmiotów naprawionych była co najmniej równa funkcjonalności i trwałości przedmiotów nowych. Nie zaobserwowano zmiany poziomu niezawodności eksploatacyjnej.

Eksploatacji eksperymentalnej jeszcze nie zakończono, jest ona w dalszym ciągu w toku. W większości przypadków wyniki badań eksploatacyjnych uznano /mimo nie zakończenia ich/ za pomyślne na tyle, że przeprowadzono wdrożenia do praktyki na szerszą skalę - głównie do kilkudziesięciu zakładów zaplecza technicznego motoryzacji. Na wdrożeniach kończą się w zasadzie badania zmierzające do osiągnięcia celu niniejszej pracy. Pozostaje jeszcze problem właściwego wykorzystania tworzyw epoksydowych w naprawie maszyn na możliwie największą skalę.

Prace wdrożeniowe obejmowały z reguły całokształt zagadnień związanych z wdrożeniem metod wykorzystania tworzyw epoksydowych w naprawie maszyn, tj. szkolenie zainteresowanych pracowników przedsiębiorstw /zarówno kadry inżynieryjno-technicznej jak i pracowników fizycznych/ na specjalnych tygodniowych kursach, przekazanie pracownikom wydrukowanych materiałów będących przedmiotem wykładów i ćwiczeń na kursach, pomoc i nadzór przy organizacji stanowisk wykorzystania tworzyw epoksydowych w naprawie oraz bezpośredni instruktaż w pierwszym okresie pracy stanowisk. Ponadto prowadzi się stały nadzór techniczny w zakładach, w których wykorzystuje się tworzywa epoksydowe w naprawie maszyn.

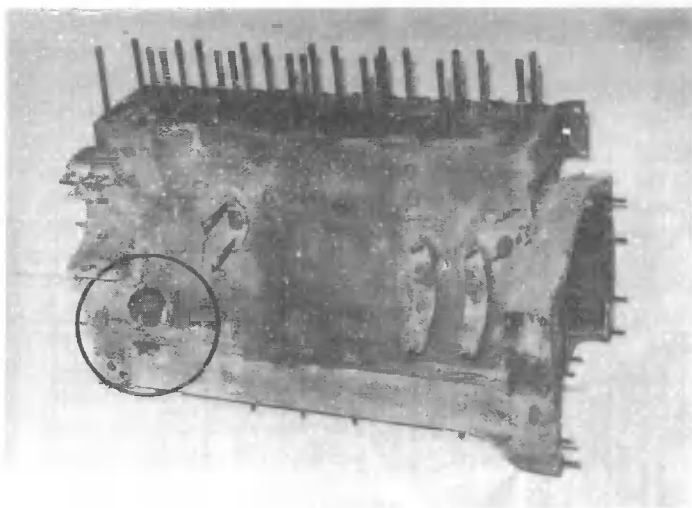
W celach dokumentacyjnych podaje się, że badania eksploatacyjne wykonywano głównie w Zakładzie Doświadczalnym Technologii Napraw Maszyn Rolniczych w Gdańsku, Zakładach Produkcyjno-Naprawczych Mechanizacji Rolnictwa w Krakowie, Tarnowie, Białymstoku, Elblągu i Gdańsku oraz w Przedsiębiorstwie Transportu RSW "Prasa" w Warszawie. Szkolenie pracowników prowadzono w Centralnym Ośrodku Doskonalenia Kadr Mechanizacji Rolnictwa w Gdańsku, w którym przeszkolono do końca maja 1971 r. ponad 300 pracowników z 145 przedsiębiorstw.

Tabela 8

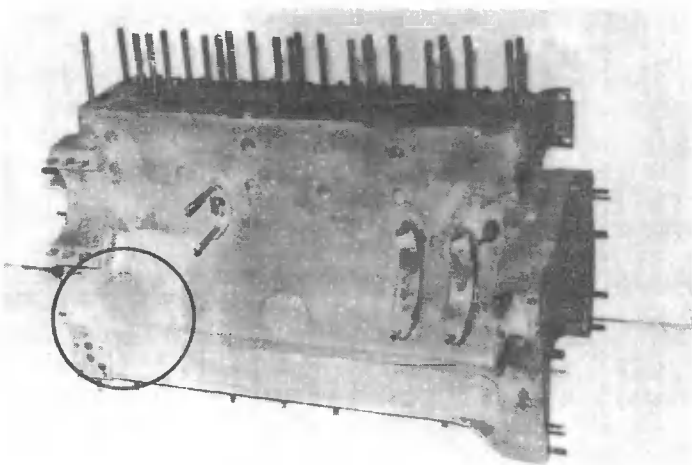
Wyniki niektórych badań eksploatacyjnych

Nazwa przedmiotu	Opis zużycia lub uszkodzenia	Przedmiot przed naprawą	Przedmiot po naprawie	Sposób naprawy	Okres pracy przedmiotu naprawionego/
Korpus silnika wysokoprężnego "Ikarus" lub silnika D4K-B	Dwa otwory w skrzyni korbowej o łącznej powierzchni ok. 170 cm ²	Rys. tabl. 8/1	Rys. tabl. 8/1	Klejenie połączone z laminowaniem i kitowaniem jednostronne z wkładką metalową	38 miesięcy
Korpus silnika wysokoprężnego silnika DT-54	Pęknięcie w strefie koszulki wodnej długości ok. 270 mm	Rys. tabl. 8/3		Klejenie połączone z laminowaniem i kitowaniem	52 miesiące
Korpus cylindra sprężarki powietrza WS-50	Pęknięcie w strefie koszulki wodnej długości ok. 160 mm	Rys. tabl. 8/4	Rys. tabl. 8/4	Klejenie połączone z laminowaniem i kitowaniem	29 miesięcy
Miska olejowa silnika wysokoprężnego S-53	Brak wlewu oleju	Rys. tabl. 8/5	Rys. tabl. 8/6	Metoda kombinowana - klejenie połączone z laminowaniem i obróbką skrawaniem	37 miesięcy
Miska olejowa silnika wysokoprężnego silnika DT-54	Otwór o powierzchni ok. 1,4 cm ²	Rys. tabl. 8/7		Kitowanie	53 miesiące
Pokrywa przednia silnika gaźnikowego GAZ-53A	Ubytek materiału na powierzchni styku z korpusem	Rys. tabl. 8/8	Rys. tabl. 8/9	Kitowanie	23 miesiące
Stopa silnika "Crescent" łoża motorowej	Pęknięcie długości ok. 65 mm		Rys. tabl. 1/10	Klejenie połączone z laminowaniem	520 godzin
Zbiornik paliwa samochodu "Warszawa"	Wzary korozyjne dna, niektóre na wkręt	Rys. tabl. 8/11	Rys. tabl. 8/12	Klejenie odwrócone	49 miesięcy
Ostona ekranu twardościomierza	Złamanie	Rys. tabl. 8/13	Rys. tabl. 8/14	Klejenie	52 miesiące
Pokrętko przełącznika defektoskopu elektromagnetycznego	Pęknięcie łoża pokrętki		Rys. tabl. 8/15	Klejenie z nawinięciem pasm rovingu	50 miesięcy

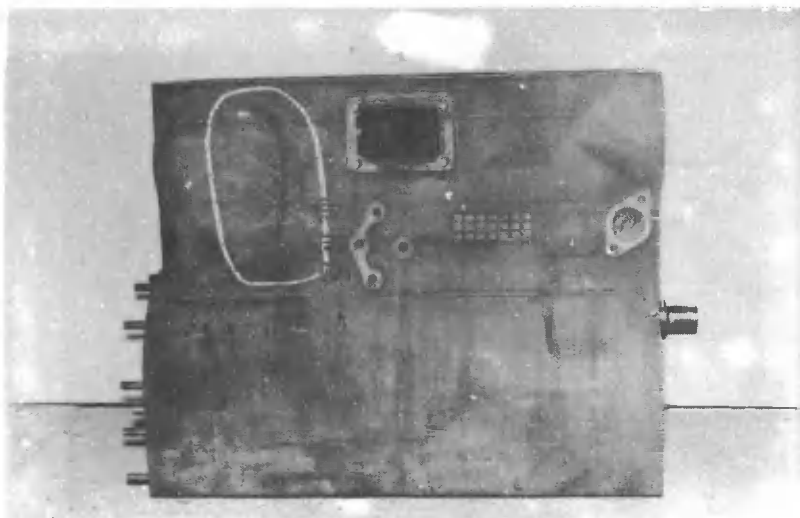
U w a g a : x/ dane dotyczą końca maja 1971 r.



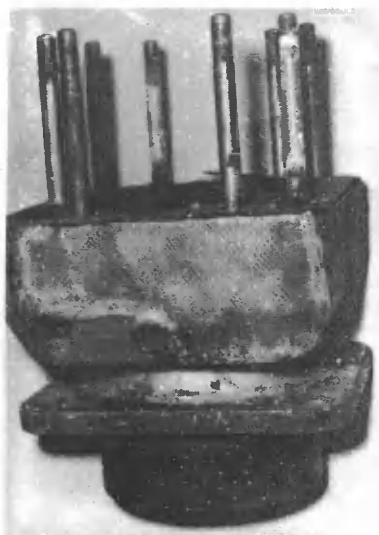
Rys. tabl. 8/1



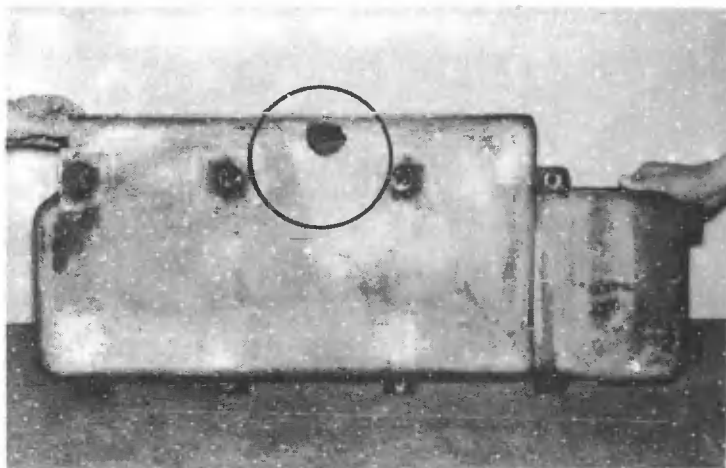
Rys. tabl. 8/2



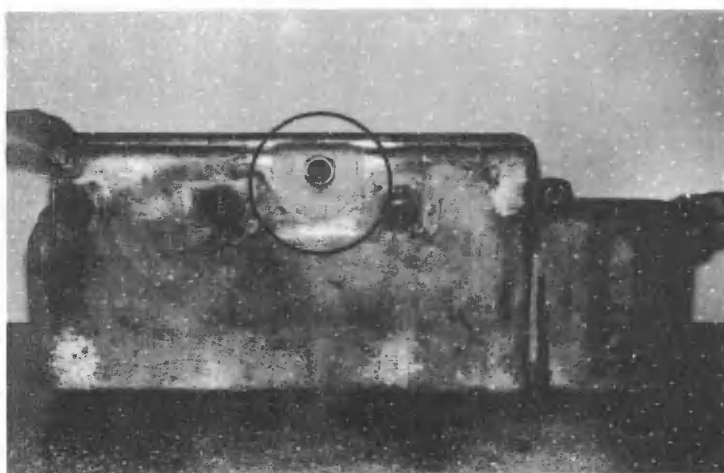
Rys. tabl. 8/3



Rys. tabl. 8/4



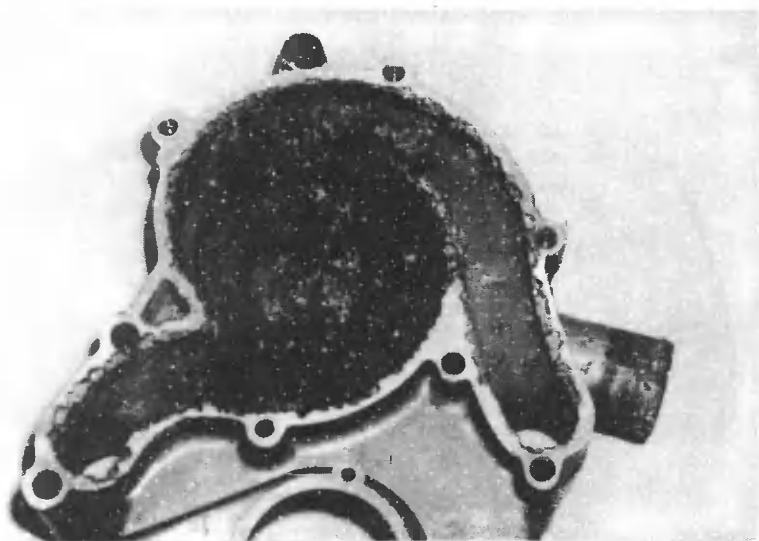
Rys. tabl. 8/5



Rys. 8/6



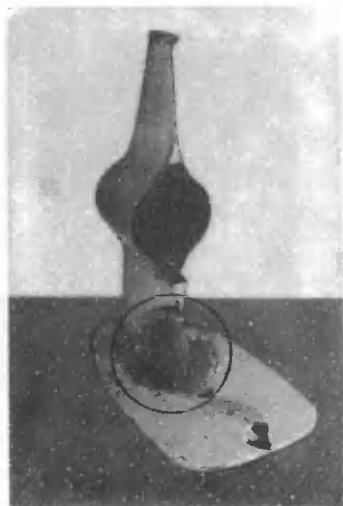
Rys. tabl. 8/7



Rys. tabl. 8/8



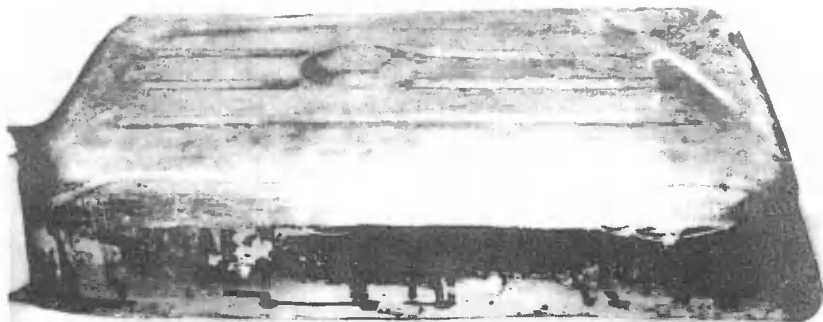
Rys. tabl. 8/9



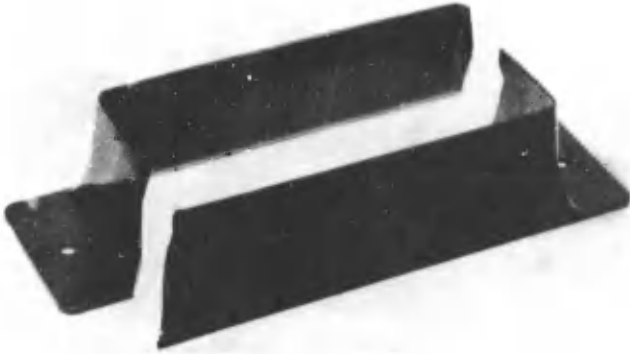
Rys. tabl. 8/10



Rys. tabl. 8/11



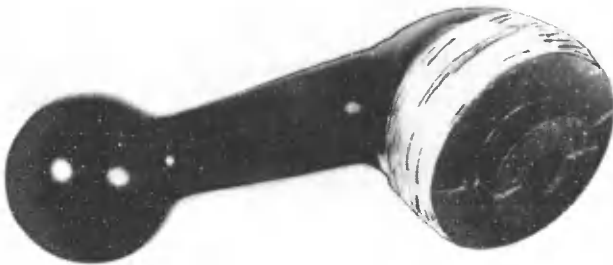
Rys. tabl. 8/12



Rys. tabl. 8/13



Rys. tabl. 8/14



Rys. tabl. 8/15

3.6. Wnioski i uwagi

Przeprowadzone badania, rozważania i dociekania pozwalają na podanie elementów podstaw doświadczalnych, a także teoretycznych, poprawnego wykorzystania tworzyw epoksydowych w naprawie maszyn w świetle możliwych do stosowania metod przetwórstwa tych materiałów w naprawie. Pozwalają również na w pewnym stopniu optymalizację rozwiązań technologicznych oraz konstrukcyjnych w procesie naprawy przy wykorzystaniu tworzyw epoksydowych. Pozytywne wyniki badań eksploatacyjnych mogą być traktowane jako potwierdzenie tego, że owe podstawy teoretyczne i doświadczalne podano poprawnie i że mają one dużą przydatność praktyczną.

Przedstawiony materiał nie wyczerpuje w całości rozpatrywanego zagadnienia. Pozwala jednak na wyciągnięcie wniosków o charakterze ogólniejszym, z których ważniejsze są następujące.

1. Wyniki badań eksploatacyjnych potwierdziły i rozszerzyły wyniki badań laboratoryjnych, co sędzić należy, jest ważną cechą tej pracy.
2. W obu zasadniczych grupach elementów maszyn zużytych lub uszkodzonych, tj. w grupie elementów, w których nastąpiło rozdzielenie materiału przez pęknięcie lub złamanie oraz w grupie elementów, w których nastąpił ubytek materiału, istnieje duża różnorodność możliwych rozwiązań technologiczno-konstrukcyjnych w procesie naprawy przy wykorzystaniu tworzyw epoksydowych, zapewniających żądaną funkcjonalność, trwałość i niezawodność przedmiotu naprawionego.
3. Proces technologiczny naprawy przy wykorzystaniu tworzyw epoksydowych jest zgodny z prawami technologii budowy maszyn z tym uzupełnieniem, że obejmuje kilka operacji i zabiegów nie mających odpowiedników w produkcji wyrobów nowych. Istotną i specyficzną operacją procesu technologicznego naprawy jest weryfikacja zużytych lub uszkodzonych przedmiotów, połączona z kwalifikacją i wyborem metody przetwórstwa tworzywa epoksydowego. Weryfikację można przeprowadzić metodą obliczeniową i statystyczno-eksploatacyjną, a wyniki przystosować do celów praktyki w postaci instrukcji weryfikacji.
4. Największe możliwości efektywnego wykorzystania tworzyw epoksydowych w naprawie maszyn aktualnie i w najbliższej przyszłości zarysowują się w zakresie: klejenia, klejenia połączonego z laminowaniem, kitowania, klejenia połączonego z laminowaniem i kitowaniem oraz w zakresie metod kombinowanych.

Na zakończenie warto dodać, że pominięcie badań modelowych, wykonanych na modelach zbudowanych zgodnie z zasadami teorii podobieństwa, było możliwe bez szkody dla pracy. Jest to istotne, bowiem umożliwiło względnie szybkie wykonanie niniejszej pracy, co nie było bez znaczenia z uwagi na pilne zapotrzebowanie społeczne jej wyników. Umożliwiło to również znaczne obniżenie kosztu wykonania pracy.

PODSTAWY DO OCENY I PORÓWNYWANIA WYKORZYSTANIA TWORZYW EPOKSYDOWYCH W NAPRAWIE MASZYN

Istotnym zagadnieniem, ściśle związanym tematycznie z niniejszą pracą, jest możliwość szybkiej i porównywalnej wzajemnej oceny wykorzystania tworzyw epoksydowych w naprawie maszyn. Na podstawie takiej oceny można bowiem wnioskować o efektywności wykorzystania tych materiałów w danych warunkach. Wspomnianą ocenę można przeprowadzić ze względów technicznych oraz ze względów techniczno-ekonomicznych.

W technologii budowy maszyn często używa się nazwy "obrabialność", pod którą, jak wiadomo, rozumie się ogólnie podatność materiału na zmiany kształtu i własności fizycznych oraz chemicznych obrabianego lub przetwarzanego materiału. W odniesieniu do procesów technologicznych: obróbki plastycznej, cieplnej, skrawania, lutowania, spawania i innych, utworzono specjalne nazwy stanowiące zawężone znaczenie obrabialności np. odpowiednio: kowalność, lejność, hartowność, skrawalność, lutowalność, spawalność i inne.

Mając powyższe na uwadze można utworzyć zawężone pojęcia obrabialności w odniesieniu do podstawowych metod przetwórstwa tworzyw epoksydowych w naprawie maszyn, tj. klejenia i kitowania. Odpowiednimi terminami byłyby: klejalność i kitowalność. Oba terminy dotyczą oczywiście materiału klejonego lub kitowanego.

Klejalność jest to zatem podatność materiału w danych warunkach klejenia na zmiany fizyczne i chemiczne materiału w wyniku których następuje trwałe łączenie, za pośrednictwem kleju z innymi materiałami. Np. podatność materiału o powierzchni bardzo gładkiej na trwałe łączenie za pośrednictwem kleju z innym materiałem jest na ogół mniejsza, niż tego samego materiału lecz chropowatego. Zatem klejalność materiału bardzo gładkiego jest na ogół gorsza niż chropowatego. Natomiast kitowalność przyjęto określać jako podatność materiału w danych warunkach kitowania na zmiany fizyczne i chemiczne materiału, w wyniku których następuje trwałe uzupełnianie lub wypełnianie ubytków materiałowych za pomocą kitu.

Ponieważ łączenie materiałów następuje za pośrednictwem kleju, przeto efekty tego łączenia zależą nie tylko od podatności materiału na

łączenie oraz również od zdolności kleju do łączenia. W związku z tym obok pojęcia klejalności związanego z materiałem klejonym można wyróżnić pojęcie klejności związane z klejem. Przez klejność rozumie się więc zdolność kleju w danych warunkach klejenia do trwałego łączenia materiałów. Np. zdolność kleju o niewłaściwych proporcjach składników do łączenia materiałów jest mniejsza, niż kleju o właściwych proporcjach składników. Zatem klejność w pierwszym przypadku jest gorsza niż w drugim.

Analogicznie, efekty uzupełniania lub wypełniania ubytków materiałów zależą nie tylko od podatności materiału na trwałe uzupełnienia lub wypełnienia tych ubytków, ale również od zdolności kitu do uzupełniania lub wypełniania tych ubytków. Przeto obok pojęcia kitowości związanego z materiałem kitowanym można wyróżnić pojęcie kitowości związane z kitem. Przez kitowość rozumie się więc zdolność kitu w danych warunkach kitowania do trwałego uzupełniania lub wypełniania ubytków materiałowych.

W celu badania klejalności i klejności oraz kitowości i kitowności można posługiwać się takimi samymi wynikami lub cechami klejenia oraz kitowania, jeżeli zbada się je odpowiednio. I tak na przykład, badając odporność na oddzieranie obwodowe przy użyciu tego samego kleju i w niezmiennych warunkach klejenia, a zmieniając tylko jakość powierzchni przygotowanej do klejenia, bada się wpływ tej jakości na odporność; czyli bada się klejalność materiału z punktu widzenia jakości powierzchni. Z kolei badając odporność na oddzieranie obwodowe przy użyciu tego samego kleju, niezmienną jakość powierzchni i niezmiennych innych warunkach klejenia, a zmieniając tylko temperaturę utwardzania, bada się wpływ tej temperatury na odporność; czyli bada się klejność kleju z punktu widzenia temperatury utwardzania.

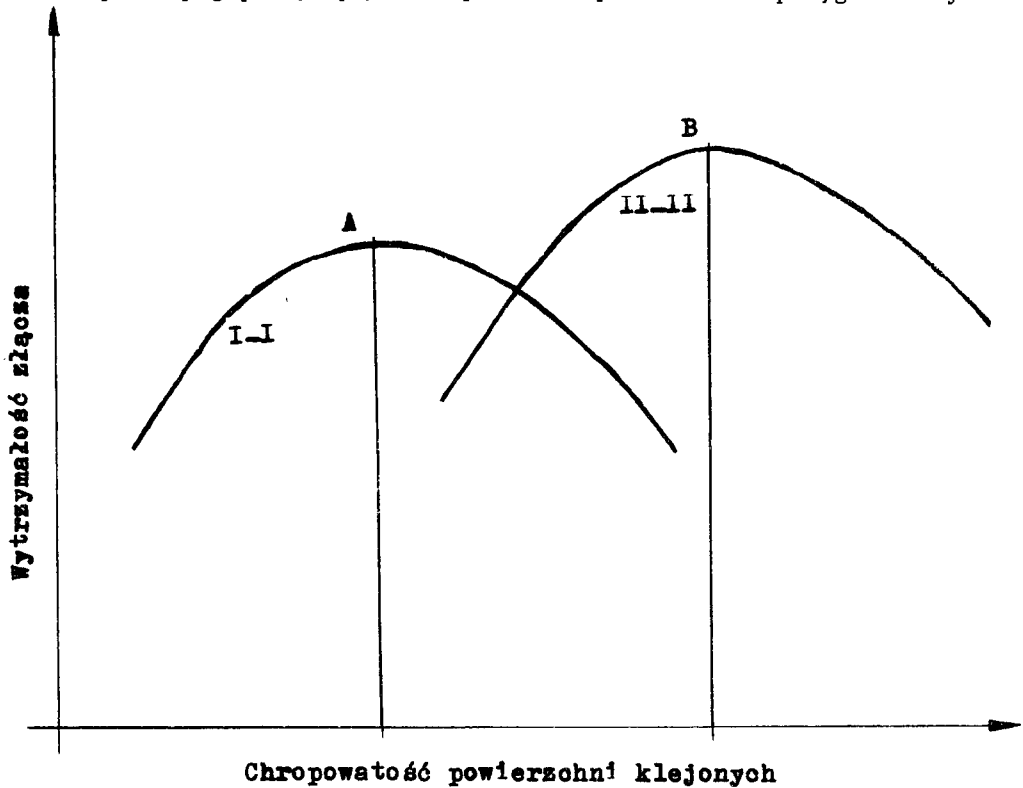
Klejalność jak również kitowość nie mogą być wyczerpująco i wszechstronnie scharakteryzowane w sposób ilościowy za pomocą tylko jednej wielkości. Dla ich dostatecznie wyczerpującego ilościowego scharakteryzowania potrzeba kilku wielkości, którą nazywa się odpowiednio wskaźnikami kitowości. Wskaźniki te stanowią podstawę do oceny i porównywania ze względów technicznych klejalności oraz kitowości, a w konsekwencji odpowiednio - klejenia oraz kitowania.

Spośród wielu możliwych wskaźników klejalności oraz kitowości najbardziej istotne, a dla praktyki potrzebne, są następujące.

- 1/ Wskaźnik jakości klejenia oraz jakości kitowania. Najczęściej w tym względzie przyjmuje się: wytrzymałość na ścinanie, odrywanie, oddzieranie, ściskanie, odkształcalność, szczelność, twardość, odporność chemiczną i cieplną oraz inne.
- 2/ Wskaźnik jakości powierzchni przygotowanej do klejenia oraz do kitowania. Najczęściej w tym zakresie przyjmowana jest chropowatość powierzchni /szczególnie wysokość i kształt nierówności/, kierunkowość nierówności, struktura warstwy wierzchniej /zwłaszcza rodzaj i grubość strefy przypowierzchniowej/ i inne.

- 3/ Wskaźnik technologiczny. Najczęściej do tego celu przyjmo - wany jest czas utwardzania, temperatura utwardzania, nacisk podczas utwardzania, czas i warunki przechowywania składników oraz nieutwardzonych tworzyw i inne.
- 4/ Wskaźnik własności użytkowych nieutwardzonych tworzyw epoksydowych. Najczęściej w tym zakresie przyjmuje się adhezję i kohezję.

Aby przedstawić przykład oceny klejalności, na rys. 43 pokazano sposób poglądowy wpływ chropowatości powierzchni . przygotowanej



Rys. 43. Poglądowa zależność wpływu chropowatości powierzchni klejonych na wytrzymałość połączenia klejowego materiałów I-I i II-II.

do klejenia na wytrzymałość połączenia klejowego materiałów I-I i materiałów II-II, klejonych jednym klejem w tych samych warunkach klejenia. Materiał I jest inny niż materiał II. Największą wytrzymałość wy-

kazuje skojarzenie materiałów I-I w punkcie A, a skojarzenie materiałów II-II w punkcie B. Chropowatość odpowiadająca punktowi A jest mniejsza niż odpowiadająca punktowi B. Z przebiegu krzywych widać, że klejalność obu materiałów oceniana ze względu na chropowatość powierzchni klejonych jest różna.

Wszystkie czynniki związane z klejeniem oraz kitowaniem stwa - rządzają określone warunki klejenia oraz kitowania - cieplne, naprężeniowe, czasowe i inne - które mogą ulegać zmianie. Oznacza to, że ten sam materiał klejony lub kitowany w różnych warunkach klejenia lub kitowania może wykazywać różną klejalność lub kitowalność, bowiem warunki te wpływają na wymienione wskaźniki. Klejalność, jak również kitowalność oceniane za pomocą optymalnego zestawienia wskaźników zbadanych w całym zakresie zmienności warunków klejenia lub kitowania nazywa się odpowiednio klejalnością oraz kitowalnością optymalną.

Jak podano, ocenę i porównywanie wykorzystania tworzyw epoksydowych w naprawie maszyn można również przeprowadzić ze względów techniczno-ekonomicznych. Podstawy do tego zostaną w zarysie przedstawiono poniżej.

Jeżeli postępowanie ekonomiczne polega na wyborze jednego spośród wielu rozwiązań technicznych tego samego zagadnienia /przywrócenie wyczerpanej lub utraconej zdolności spełniania określonej funkcji użytkowej zużytego lub uszkodzonego elementu maszynowego/, to można dla każdego z tych rozwiązań utworzyć wskaźnik efektywności techniczno-ekonomicznej w postaci

$$W = \frac{k}{\zeta} \quad /4/$$

gdzie:

W - wskaźnik efektywności techniczno-ekonomicznej,

k - całkowity jednostkowy koszt społeczny rozwiązania technicznego,

ζ - czas pracy elementu maszyny.

Najbardziej celowym technicznie i opłacalnym ekonomicznie jest, zgodnie z prawami ekonomii, rozwiązanie W_1 dla którego spełniona jest nierówność

$$W_1 < W_2 < W_3 < W_4 < \dots < W_i$$

gdzie: W_1, W_2, \dots, W_i oznaczają wskaźniki efektywności techniczno-ekonomicznej poszczególnych rozwiązań technicznych.

Najczęściej ma się do wyboru między dwoma rozwiązaniami:

- naprawa przedmiotu przy wykorzystaniu tworzyw epoksydowych /dalsze oznaczenia - indeks r/,

- zakupienie przedmiotu nowego /indeks n/.

W tym przypadku można napisać zależność /4/ jako

$$W = \frac{k_{sr}}{t_r} \quad /5/$$

oraz

$$W_n = \frac{k_{sn}}{t_n} \quad /6/$$

Całkowity jednostkowy koszt społeczny obu rozwiązań technicznych można określić z zależności

$$k_{sr} = \sqrt{k_r \cdot k_{ur}} \quad /7/$$

jednak w praktyce najprawdopodobniej nastąpi uznanie zależności

$$k_{sr} = k_r \cdot k_{ur} \quad /8/$$

lub

$$k_{sr} = k_r + k_{ur} \quad /9/$$

co eliminuje kłopotliwą operację pierwiastkowania i analogicznie

$$k_{sn} = \sqrt{k_n \cdot k_{un}} \quad /10/$$

oraz

$$k_{sn} = k_n \cdot k_{un} \quad k_{sn} = k_n + k_{un} \quad /11/$$

gdzie:

- k_{sr} - całkowity jednostkowy koszt społeczny przeprowadzenia naprawy przy wykorzystaniu tworzyw epoksydowych,
- k_r - całkowity jednostkowy koszt przeprowadzenia naprawy,
- k_{ur}^r - całkowity jednostkowy koszt eksploatacji /użytkowania i obsługi/ przedmiotu naprawionego,
- k_{sn} - całkowita jednostkowa społeczna cena nabycia przedmiotu nowego,
- k_n - całkowita jednostkowa cen nabycia przedmiotu nowego,
- k_{un}^n - całkowity jednostkowy koszt eksploatacji /użytkowania i obsługi/ przedmiotu nowego.

Aby naprawa była celowa technicznie i opłacalna ekonomicznie, musi być spełniony warunek, który nazwano warunkiem ekonomiczności naprawy i który ma postać

$$W_r < W_n \quad /12/$$

lub

$$\frac{W_n}{W_r} > 1 \quad /13/$$

Po wstawieniu do podanych nierówności odpowiednich zależności i wykonaniu działań otrzymuje się następną postać warunku ekonomiczności naprawy

$$\frac{\tilde{c}_r}{\tilde{c}_n} > \frac{k_{sr}}{k_{sn}} \quad /14/$$

i wreszcie można otrzymać postać

$$\frac{k_{sn}}{k_{sr}} \cdot \frac{\tilde{c}_r}{\tilde{c}_n} > 1 \quad /15/$$

Należy zaznaczyć, iż w proponowanej metodzie obliczania efektywności techniczno-ekonomicznej, która stanowi podstawę do oceny i porównywania ze względów techniczno-ekonomicznych wykorzystania tworzyw epoksydowych w naprawie maszyn, uwzględnia się rzeczywiste warunki gospodarcze w chwili przeprowadzania rachunku. Uwzględnia się zatem aktualnie obowiązujące ceny /których relacja nie zawsze jest właściwa/, wartość i podział akumulacji, poziom techniczny przedsiębiorstw i inne. Podczas zmiany tych warunków ulegają zmianie wyniki rachunku, trzeba go więc w praktyce okresowo powtarzać dla kontrolowania wpływu tych zmian na ekonomiczną stronę naprawy.

Jeżeli całkowite koszty eksploatacji przedmiotów naprawionych i nowych są sobie równe i jednakowe są odpowiadające czasy pracy przedmiotów, to rachunek ekonomiczny można uprościć, sprowadzając go do bezpośredniego porównania całkowitych kosztów naprawy i ceny sprzedaży detalicznej lub hurtowej przedmiotu nowego.

Na podstawie wielokrotnie przeprowadzanego rachunku dla różnych przedmiotów wykazała można bardzo dużą efektywność techniczno-ekonomiczną wykorzystania tworzyw epoksydowych w naprawie maszyn. Efektywność ta jest znacznie większa od efektywności innych znanych porównywalnych sposobów naprawy. Niektóre wyniki obliczeń podano w pracy oznaczonej numerem [93].

R e a s u m u j ą c można stwierdzić, że podstawę do ocena i wzajemnego porównywania wykorzystania tworzyw epoksydowych w naprawie maszyn ze względów technicznych, stanowią w odniesieniu do klejenia i kitowania podane wskaźniki klejalności i wskaźniki kitowalności, natomiast podstawę do oceny i porównywania wykorzystania tworzyw epoksydowych w naprawie maszyn ze względów techniczno-ekonomicznych, stanowi zaproponowany rachunek efektywności techniczno-ekonomicznej.

WNIOSKI KOŃCOWE I ZAKOŃCZENIE

Wnioski i uwagi podawano w zakończeniu każdego rozdziału, powtarzanie ich wydaje się więc zbędne. Biorąc jednak pod uwagę całość niniejszej pracy, można przedstawić następujące ważniejsze ogólne wnioski końcowe.

1. Korzystne własności fizyczne, mechaniczne, technologiczne i inne tworzyw epoksydowych, sporządzanych przez ich użytkowników z zastosowaniem żywic, utwardzaczy, rozcieńczalników, napełniaczy i innych produktów wytwarzanych w kraju lub dostępnych na rynku krajowym, pozwalają na szerokie i efektywne wykorzystanie tych tworzyw w naprawie /odnowie/ maszyn. Wykorzystanie to wydaje się szczególnie uzasadnione w poza-planowej, szybkiej naprawie przeprowadzanej w warunkach polowych, morskich itp.
2. Poprawne wykorzystanie tworzyw epoksydowych w naprawie maszyn wykazuje szereg cech, które decydują o tym, iż jest ono bardzo postępowe w porównaniu z tradycyjnymi sposobami naprawy, a nawet w dużym stopniu w porównaniu z nowocześniejszymi sposobami naprawy /oczywiście w nielicznych przypadkach porównywalnych/, takimi jak spawanie oraz napawanie Eutalloy i Metallit, jak również szycie Metalock.
3. Przez stosowanie tworzyw epoksydowych w naprawie maszyn, otworzyły się nowe możliwości naprawy technicznie uzasadnionej i ekonomicznie opłacalnej. Istnieją również realne możliwości, w stosunku do już istniejących, dalszych nowych rozwiązań technologiczno-konstrukcyjnych w procesie naprawy przy wykorzystaniu tworzyw epoksydowych.

Konfrontując wyniki uzyskane w niniejszej pracy z założonym celem, można dojść do przekonania, że poznano bliżej proces oddziaływania obwodowego, zwłaszcza naświetlono zjawiska zachodzące pod obciążeniem w elementach epoksydowych oraz scharakteryzowano współdziałanie pod obciążeniem złączonej trwale pary materiałowej tworzywo epoksydowe-materiał przedmiotu naprawianego. Podano dalej niejako zręby podstaw doświadczalnych, a także teoretycznych, dotyczą-

cych wykorzystania tworzyw epoksydowych w naprawie maszyn przy zwróceniu uwagi na metody przetwórstwa możliwe do stosowania w warunkach przeprowadzania napraw. Dokonano pewnej optymalizacji rozwiązań zagadnień technologicznych i konstrukcyjnych w procesie naprawy przy wykorzystaniu tych materiałów. Sformułowano ważniejsze praktyczne zasady racjonalnego i efektywnego wykorzystania tworzyw epoksydowych w naprawie maszyn. Wskazano na podstawy do oceny i porównywania wykorzystania tworzyw epoksydowych w naprawie oraz usprawnienia procesów naprawczych. Wszystko to wykonano z uwypukleniem strony technologicznej. Przez cały czas starano się uporządkować i niejako "sprowadzić do wspólnego mianownika", co prawda nie - liczne, porównywalne i poważniejsze doniesienia z literatury na temat związanych z tą pracą.

Problematyka obejmująca przedmiot pracy, jak już wspomniano, jest bardzo mało znana - istniała zatem możliwość tylko częściowej korelacji wyników. Do rezultatów przeprowadzonych badań i rozważań dość wiadczalnych i teoretycznych można odnieść się z pewnym zaufaniem, gdyż zostały one w większości sprawdzone w czasie długotrwałych badań eksploatacyjnych oraz w dużym stopniu wdrożone do praktyki, jak również wykorzystano je przy opracowywaniu książki pt. "Tworzywa epoksydowe w naprawie maszyn" [93], która została wydana przez Wydawnictwa Naukowo-Techniczne w 1971 r. Poza tym niektóre ważne zagadnienia, wchodzące w zakres niniejszej pracy /np. istota i technika oddzierania obwodowego/, zostały opublikowane m.in. w czasopiśmie "Przegląd Mechaniczny" zeszyt 3 i 23, 1970 r. [87, 88] oraz zagranicą w czasopiśmie "Adhesion" zeszyt 8, 1971 r. [94].

Praca niniejsza, jakkolwiek nie wyczerpuje zagadnienia wykorzystania tworzyw epoksydowych w naprawie maszyn, gdyż byłoby to zadanie przekraczające tego rodzaju opracowanie, stanowi jednak pewną całość. Wobec wielu jeszcze nie rozwiązanych problemów może ona stanowić skromny wkład do uzupełnienia i wyjaśnienia niektórych zagadnień wprowadzania tworzyw epoksydowych do naprawy maszyn. Wnioski, uwagi i spostrzeżenia zawarte w pracy wydają się wskazywać kierunki dalszych badań zarówno laboratoryjnych jak i eksploatacyjnych. Na pierwszym planie zarysowują się dokładniejsze badania kitowania konstrukcyjnego.

Jeżeli chodzi o znaczenie użyteczne tej pracy, to wydaje się, że polega ono na tym, iż jej wyniki pozwalają na następujące stwierdzenie: właściwe wykorzystanie tworzyw epoksydowych w naprawie maszyn, może w warunkach krajowych, przez znaczny postęp w gospodarce remontowej, walcie przyczynić się do podniesienia stopnia wykorzystania maszyn - jako ważnego elementu rozwoju gospodarczego.

Być może, że poniżej zostanie rzecz znana, ale mimo tego, warto zwrócić na nią uwagę. Stopy metali znane są od bardzo dawna i nadal prowadzi się intensywne prace nad poznaniem ich własności. Pierwsze zastosowania żywic epoksydowych znane są od 1945 r. W kraju żywice

produkowane są od 12 lat, a pierwsze zastosowania w naprawie maszyn znalazły one około 6 lat temu. Są to więc materiały nowe, których własności, w istotny sposób różniące się od własności metali, są w zasadzie bardzo mało poznane. Zatem tylko intensywne i koordynowane prace naukowe, rozwojowe, wdrożeniowe i inne, mogą przyczynić się do dokładniejszego poznania własności tych tworzyw, a przez to wpłynąć na szersze i efektywniejsze ich wykorzystanie w tym również w naprawie maszyn.

SPIS PUBLIKACJI

analizowanych i uwzględnionych w niniejszej pracy

1. Barstow A. H.: New techniques in the packaging and dispensing of pastes. *Adhesives Age* t. 11, nr 2, 1968.
2. Bärbock J., Dallach G.: Untersuchungen über die Haftfestigkeit von Teer-Epoxidharz an Metallen. *Plaste und Kautschuk* 4/1968.
3. Beschichten und Kleben mit druckluftsystemen. *Adhäsion* 5/1968.
4. Bierieznikow W., Kriczewskij M., Makariew A., Snopkow A.: Remont detaliej litiem polimierow pod dawlieniem. *Tiechnika w siel-skom choziajstwie* 9/1969.
5. Bierieznikow W. W., Kriczewskij M. E., Makariew A. P.: Primienienije tiermopłastow dlja remontu sielskochoziajstwiennyh maszin. *Płasticzeskije Massy* 11/1969.
6. Broś J.: Podstawy doboru nowych materiałów na niektóre elementy ślizgowe maszyn w świetle badań technologicznych. *Politechnika Krakowska, Mechanika* z. 9, *Zeszyt Naukowy* nr 6, Kraków 1965.
7. Broś J.: Programowanie badań. *Komitet Budowy Maszyn PAN, Zagadnienia Tarcia Zużycia i Smarowania* z. 6. PWN, Warszawa 1970.
8. Bonding replaces soldering and reduces cost. *Adhesives Age* t. 12, nr 8, 1969.
9. Brockmann N. W.: Entwicklungstendenzen in der Klebtechnik. *Adhäsion* 6/1969.
10. Brockmann N. W.: Über Haftvorgänge beim Metallkleben. *Adhäsion* 9 i 11/1969.
11. Brojer Z., Hert Z., Penczek S.: *Żywice epoksydowe*, PWT, Warszawa 1960.
12. Brojer Z.: *Żywice epoksydowe. Epidiany*. WKC, Warszawa 1964.
13. Brojer Z.: *Rozwój krajowej produkcji żywic epoksydowych*. *Polimery* 7/1967.

14. Caliński T.: Niektóre metody statystyczne stosowane w opracowaniu i interpretacji wyników badań. Komitet Budowy Maszyn PAN. Zagadnienia Tarcia Zużycia i Smarowania z. 6 PWN, Warszawa 1970.
15. Czarnocki J.: Naprawa nadwozi blaszanych za pomocą tworzyw sztucznych. Prace Instytutu Transportu Samochodowego nr 1384/ZN/66. Warszawa 1966.
16. Czarnocki J.: Naprawa podwozi blaszanych za pomocą tworzyw sztucznych. Technika Motoryzacyjna 9/1968.
17. Ehren I. R., Dwors C. E., Higgins W. A.: Liquid antimsag and flow control agents for sealants. Adhesives Age t. 11, nr 11, 1968.
18. Gdańska Stocznia Remontowa. Instrukcja technologiczna naprawy ubytków korozyjnych w śrubach napędowych żywicami epoksydowymi. Gdańsk 1966.
19. Gdańska Stocznia Remontowa. Technologia napraw elementów maszyn i urządzeń okrętowych przy pomocy żywic epoksydowych w Gdańskiej Stoczni Remontowej. Gdańsk 1968.
20. Gieracz W.: Naprawa odlewów metalowych za pomocą żywic epoksydowych. Przegląd Techniczny 9/1965.
21. Grudzień Z.: Technologia klejenia w obrabiarkach ciężkich. Mechanik 12/1969.
22. Grudziński K., Lorkiewicz J.: Wytrzymałość na skręcanie klejonych połączeń walcowych. Przegląd Mechaniczny 8/1970.
23. Góral W., Wierzbicki K.: Łączenie metali przy pomocy żywic epoksydowych. Maszyny i Ciągniki Rolnicze 2/1969.
24. Gpral W., Wierzbicki K.: Próba ustalenia wpływu nawozów mineralnych na złącza klejone. Maszyny i Ciągniki Rolnicze 11/1969.
25. Hebda M.: Warstwa wierzchnia elementów maszyn. Komitet Budowy Maszyn PAN. Zagadnienia Tarcia Zużycia i Smarowania z. 6, PWN, Warszawa 1970.
26. Hebda M., Janicki D.: Konstrukcyjne problemy niezawodności urządzeń technicznych. Przegląd Mechaniczny 6/1971.
27. Hertz Z.: Rozwój chemii i technologii żywic epoksydowych. Polimery 7/1967.
28. Huber H. F., Stroble H. G.: Applications and future uses of capsular adhesives. Adhesives Age t. 10, nr 11, 1967.
29. Iwołgii W. Ja.: Wlijanie toższciny klieewogo słoja na procznost klieewych soedinienij mietalłow. Płasticzeskije Massy 3/1970.

30. Jahn H.: Epoxidharze. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1969.
31. Klejone statki Stoczni Remontowej "Parnica". Przegląd Techniczny 22/1965.
32. Kolman R., Sikora R.: Obróbka skrawaniem tworzyw sztucznych. WNT, Warszawa 1967.
33. Konieczny J., Olearczuk E., Żelazowski W.: Elementy nauki o eksploatacji. WNT, Warszawa 1969.
34. Kośmider-Łuniewska D., Rycerska-Łazęcka H.: Technologia wykonywania laminowanych pokryć malarskich. Ochrona przed Korozją 5/1968.
35. Kopczyński Cz.: Wpływ wodnych roztworów kwasu siarkowego na laminaty epoksydowo-szklane, stosowane do ochrony stali przed korozją. Polimery 4/1969.
36. Kujawskie Zakłady Naprawy Samochodów. Zastosowanie żywic epoksydowych w naprawach samochodów. Solec Kujawski 1969.
37. Kulesza L.: Technologiczne problemy klejenia metali żywicami epoksydowymi. Przegląd Techniczny 15/1964.
38. Kolesza L., Piskorski B.: Żyvice epoksydowe w remontach statków. Zjednoczenie Morskich Stoczni Remontowych - Gdańsk, Stocznia Remontowa "Parnica" - Szczecin 1965.
39. Lisowski Z.: Nowe rozwiązania technologiczne skojarzeń ślizgowo-obrotowych. Politechnika Krakowska, Mechanika z. 20, Zeszyt Naukowy nr 7, Kraków 1965.
40. Lisowski Z.: Sposób wytwarzania niskotarciowych warstw z tworzyw sztucznych formowanych na czopach. Patent polski nr 54703, Kl. 47 b, 3.
41. Lee H., Naville K.: Handbook of Epoxy Resins. McGraw-Hill Book Company 1967.
42. Lorkiewicz J.: Próby udarowe klejonych połączeń metali. Przegląd Mechaniczny 34/1965.
43. Lorkiewicz J.: Przygotowanie powierzchni metali do klejenia. Przegląd Mechaniczny 2/1966.
44. Lorkiewicz J.: Próby wytrzymałościowe połączeń klejonych. Przegląd Mechaniczny 5/1966.
45. Lorkiewicz J.: Z praktyki klejenia metali. Mechanik 7/1966.
46. Lorkiewicz J.: Kleje epoksydowe w naprawie pojazdów mechanicznych. Motoryzacja 10/1966.

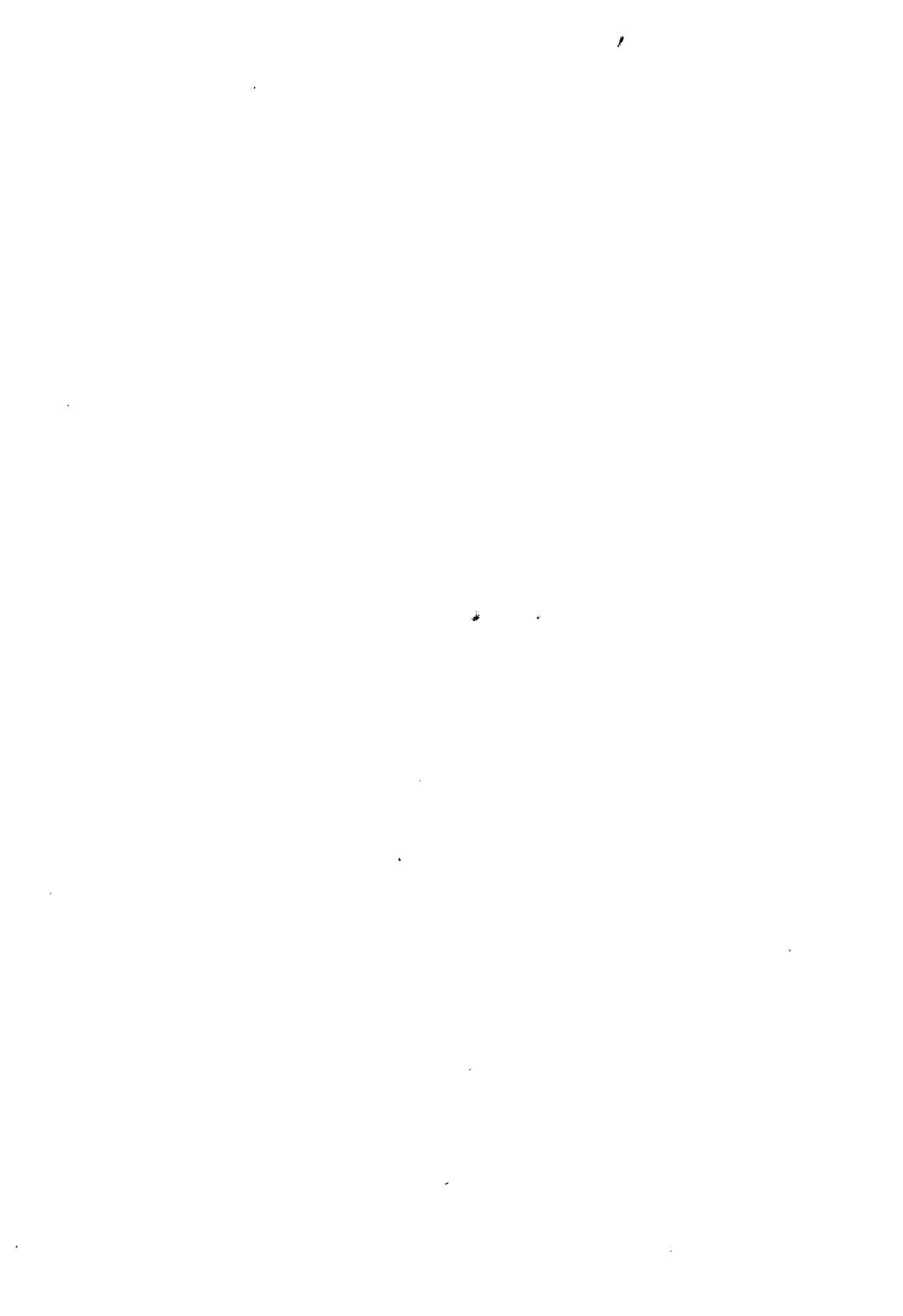
47. Lorkiewicz J.: Problemy adhezji przy klejeniu metali. Część I i II. Polimery 12/1966 i 1/1967.
48. Lorkiewicz J.: Fizyczne podstawy klejenia. Przegląd Spawalnictwa 4/1967.
49. Lorkiewicz J.: Badania czasu życia krajowych klejów epoksydowych. Mechanik 6/1967.
50. Lorkiewicz J.: Wpływ ośrodka na wytrzymałość klejonych połączeń metali. Mechanik 2/1968.
51. Lorkiewicz J.: Badania jakości klejonych połączeń metali. Przegląd Spawalnictwa 12/1968.
52. Maitre R.: Las adhésifs époxydes. Industrie des Plastiques Modernes et Elastomeres 9/1968.
53. Manukow N.: Nowe metody napraw parku maszynowo-traktorowego. PWRiL, Warszawa 1966.
54. Matting A., Ulmer K.: Grenzflächen - Reaktionen und Spannungsverteilung in Metallklebverbindungen. Kautschuk und Gummi 4/1963.
55. Matting A., Brockmann W.: Stand und Bedeutung der Metallklebtechnik. Adhäsion 11/1969.
56. Michel M.: Die Ursachen von Fehlverklebungen. Adhäsion 3/1969.
57. Mielnik W. S.: Primienienije epoksidnych pokrytij dlja remontu traktorow, awtomobiliej i sielskochozajstwiennych maszin. Plastikieskije Massy 9/1969.
58. Mohle H.: Schälversuch oder Zugversuch für die Klebkraftmessung. Adhäsion 2/1969.
59. Morawski T.: Kontrola ultradźwiękowa połączeń klejonych. Przegląd Spawalnictwa 11/1968.
60. Nazewnictwo warstwy wierzchniej. Mechanik 3 i 4/1969.
61. Nix H.: Metallkleben - ein neues Verbindungsverfahren. J. Soudure t. 52, nr 5, 1962.
62. Opracowania niepublikowane wykonane w Zakładzie Doświadczalnym Technologii Napraw Maszyn Rolniczych w Gdańsku w latach 1967-1971.
63. Piełudź A.: Naprawa pęknięć w elementach maszyn. Przegląd Mechaniczny 14/1967.
64. Philipp H.: Zu einigen Veränderungen in der Struktur der Weltplastproduktion. Plaste und Kautschuk 3/1968.
65. Piasecki B.: Organizacyjne aspekty eksploatacji technicznej. Mechanik 5/1970.

66. Piskorski B.: Nowoczesna metoda łączenia części. Przegląd Techniczny 14/1964.
67. Piskorski B., Kulesza L.: Klejenie metali w Stocznii Remontowej "Parnica". Budownictwo Okrętowe 1/1965.
68. Piskorski B.: Żywice adhezyjne w zastosowaniu do naprawy i adaptacji narzędzi. Mechanik 9/1965.
69. Piskorski B.: Wklejane łożyska. Przegląd Techniczny 22/1965.
70. Penczek P., Niemkiewicz B.: Lane kompozycje epoksydowe z napełniaczem proszkowym o dużej twardości. Polimery 2/1970.
71. Prospekt firmy Vecom International N. V. S. A. Antwerpen.
72. Prospekt firmy Metallit -Verwaltungsgesellschaft m. b. H. Bielefeld NRF.
73. Prospekt firmy Armstrong Products Co. Inc., Warsaw, Indiana USA.
74. Prospekty Zakładów Chemicznych "Sarżyna" w Nowej Sarżynie.
75. Puzakow J. K.: Riemontnaja apteczka s epoksidnym sostawom. Sudostrojenie 7/1967.
76. Rombrecht H. M.: Verdünnungsmittel für Epoxydharze. Internationale Tagung über Glasfaserwerkstoffe-Kunststoff und Epoksydharze, Berlin 22-27. 3. 1965, s. H21/1-H21/6.
77. Seel H., Umlauf H.: Gesundheitsschäden bei der Verarbeitung von Epoxidharz und ihre Vermeidung. Plaste und Kautschuk 7/1969.
78. Sebbard F. V.: Mishandling of adhesives reduces machineability. Adhesives Age t. 11, nr 8, 1968.
79. Siemaszko A., Porejko S.: Kleje naturalne i syntetyczne. PWT, Warszawa 1961.
80. Sikora R.: Natryskiwanie, napylenie i fluidyzacja - nowe metody regeneracji części maszyn rolniczych. Komunikaty Informacyjne Zakładów Doświadczalnych Ministerstwa Rolnictwa 5/1968.
81. Sikora R.: Tworzywa sztuczne w naprawach maszyn i urządzeń rolniczych - podstawowe wiadomości ogólne. Maszyny i Ciągniki Rolnicze 7-8/1968.
82. Sikora R., Dolny K.: Klejenie i kitowanie żywicami epoksydowymi w naprawach maszyn rolniczych. Ministerstwo Rolnictwa - Zakład Doświadczalny Technologii Napraw Maszyn Rolniczych, Gdańsk 1968.
83. Sikora R.: Normalizacja badań jakości klejenia. Komunikaty Informacyjne Zakładów Doświadczalnych Ministerstwa Rolnictwa 6/1969.

84. Sikora R.: Zastosowanie żywic epoksydowych w naprawach maszyn i urządzeń rolniczych. *Maszyny i Ciągniki Rolnicze* 10/1969.
85. Sikora R.: Kleje i kity epoksydowe stosowane w naprawach maszyn i urządzeń. *Maszyny i Ciągniki Rolnicze* 12/1969.
86. Sikora R.: Technologia klejenia i kitowanie w naprawach maszyn rolniczych. *Maszyny i Ciągniki Rolnicze* 2/1970.
87. Sikora R. .: Pojęcie i ocena klejenia w budowie maszyn. *Przegląd Mechaniczny* 3/1970.
88. Sikora R.: Nowa metoda badań połączeń klejowych. *Przegląd Mechaniczny* 23/1970.
89. Sikora R., Serafin J.: Klejenie okładzin ciernych. Ministerstwo Rolnictwa - Zakład Doświadczalny Technologii Napraw Maszyn Rolniczych. Gdańsk 1970.
90. Sikora R.: Koncepcja i badanie przyrządów do mechanicznego do - ciskania i przesycania tkaniny w naprawie maszyn. Instrukcja użyt - kowania. Ministerstwo Rolnictwa - Zakład Doświadczalny Techno - logii Napraw Maszyn Rolniczych. Gdańsk 1970.
91. Sikora R. i inni: Regeneracja sprzętu motoryzacyjnego tworzywa - mi epoksydowymi. Praca naukowo-badawcza wykonana na zlecenie Przedsiębiorstwa Transportu RSW "Prasa" w Warszawie. Maszyna - napis, Gdańsk-Warszawa 1971.
92. Sikora R.: Badania zużycia i trwałości ostrza podczas toczenia ligo - folu. Komitet Budowy Maszyn PAN. Zagadnienia Tarcia Zużycia i Smarowania z. 9, PWN, Warszawa 1971.
93. Sikora R.: Tworzywa epoksydowe w naprawie maszyn. WNT, War - szawa 1971.
94. Sikora R.: Ein neues Prtffverfahren für Klebverbindungen. *Adhäsion* 8/1971.
95. Sikora R.: Klejenie rur. *Mechanik* 2/1972.
96. Słupnicki J.: Pomiary naprężeń metodą elastooptycznej warstwy po - wierzchniowej. *Archiwum Budowy Maszyn* tom XVI, zeszyt 2 rok 1969.
97. Snogren R. C.: Selection of surface preparation processes. *Adhe - sives Age t.* 12, nr 7, 1969.
98. Solski P., Ziemia S.: Zagadnienia tarcia suchego. PWN, Warsza - wa 1965.
99. Solski P., Ziemia S.: Zagadnienia zużycia elementów maszyn spo - wodowanego tarciem. PWN, Warszawa 1969.

100. Starke E.: Schälprüfungen für Metallklebeverbindungen. Der Maschinenbau 1/1961.
101. Stasiński A., Kozłowski J.: Naprawa napędowych śrub okrętowych z brązu manganowego przy pomocy spawania i prostowania oraz naprawa tulei brązowych i tłoków ze stopów aluminium. Naprawa wad odlewów z metali niezależnych. Zjednoczenie Przemysłu Wyrobów Odlewniczych - Stowarzyszenie Techniczne Odlewników Polskich, Gliwice 1969.
102. Uskow I.A., Tarasienka Ju.G., Niżnik W.W.: Uzilenja epoksidnych compoundow napoñnitielami. Miechanika Polimierow 6/1967.
103. Vadász E.: Reperatur von Maschinenelementen durch Aufsintern von Polyamid. Plaste und Kautschuk 10/1967.
104. Wąsowicz H.: Naprawa odlewów przy pomocy żywicy epoksydowej. Wstępna instrukcja. Instytut Odlewnictwa, Kraków 1962.
105. Wąsowicz H.: Metody naprawiania wadliwych odlewów przy pomocy tworzyw sztucznych. Wady odlewnicze i możliwości ich naprawy. Instytut Odlewnictwa, Kraków 1963.
106. Winiecki H., Kukliński M.: Regeneracja pomp masami szpachlowymi opartymi na żywicach epoksydowych. Ochrona przed Korozją 4/1966.
107. Wojciechowicz B.: Studia nad mechanizmem zużywania się pary ślizgowej w obecności zanieczyszczeń. Politechnika Poznańska, Rozprawy nr 14, Poznań 1966.
108. Wojdak J.: Zużycie i weryfikacja elementów maszynowych. WNT, Warszawa 1969.
109. Wojdak J.: Cechy problemowe regeneracji elementów maszyn. Maszyny i Ciągniki Rolnicze 7-8/1970.
110. Wojskowy Instytut Techniki Panczernej i Samochodowej. Instrukcja. Zestaw do naprawy żywicami epoksydowymi. 1969.
111. Wojskowy Instytut Techniki Panczernej i Samochodowej. Instrukcja tymczasowa - naprawa elementów pojazdów mechanicznych żywicami epoksydowymi. 1969.
112. Wrotkowski J.: Gospodarka remontowa. Pojęcia i zasady ogólne. WNT, Warszawa 1969.
113. Wyższa Szkoła Marynarki Wojennej. Robot - Okrętowy zestaw naprawczy. Instrukcja użycia zestawu. Gdynia 1969.
114. Yurenka S.: Peel testing of adhesive bonded metal. Symposium on adhesives for structural applications - Interscience Publishers. New York - London 1961.

115. Zaczek Z.: Możliwości stosowania żywic epoksydowych przy awaryjnych naprawach okrętowych urządzeń technicznych. Przegląd Morski 12/1968.
116. Zaczek Z.: Naprawa pękniętego bloku cylindrów okrętowego silnika spalinowego przy zastosowaniu techniki klejenia metali. Przegląd Morski 3/1969.
117. Zaczek Z.: Okrętowy zestaw naprawczy Robot-2 produkcji WSMW. Przegląd Morski 6/1969.
118. Zaczek Z.: Okrętowy zestaw naprawczy Robot-2. Wojskowy Przegląd Techniczny 5/1969.
119. Zaczek Z.: Naprawa zbiornika oleju napędowego techniką klejenia metali. Przegląd Morski 7-8/1969.
120. Zaczek Z.: Analiza warunków zapewniających trwałość uszczelnienia pękniętego bloku cylindrów okrętowego silnika spalinowego przy zastosowaniu techniki klejenia metali. Zbiór prac nr 27 WSMW, Gdynia 1969.
121. Zaczek Z.: Naprawa głowicy silnika JAZ-204G za pomocą techniki klejenia metali. Zbiór prac nr 29 WSMW, Gdynia 1970.
122. Zaczek Z.: Naprawa bloku cylindrów silnika JAZ-204G przy zastosowaniu techniki klejenia metali. Zbiór prac nr 30 WSMW, Gdynia 1970.
123. Zaczek Z.: Badania wytrzymałości złącz klejonych metal-laminat epoksydowo-szklany w podwyższonych temperaturach. Zbiór prac nr 31 WSMW, Gdynia 1970.
124. Zawadzki J.: Naprawa błotników samochodowych. Ochrona przed Korozją 1/1971.
125. Ziemia S.: Tarcie wewnętrzne. Komitet Budowy Maszyn PAN. Zagadnienia Tarcia Zużycia i Smarowania z. 6. PWN, Warszawa 1970.
126. Ziemia S., Lenkiewicz W.: Tarcie - systematyka pojęć, aktualny stan rozwoju teorii. Komitet Budowy Maszyn PAN. Zagadnienia Tarcia Zużycia i Smarowania z. 6. PWN, Warszawa 1970.



Biblioteka Główna ATR
w Bydgoszczy

1006

3/2

1996



BYDGOSZCZ