

Doc. dr inż. LUCJAN BUKOWSKI
 Mgr inż. SYLWESTER KŁYSZ
 Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych
 Mgr inż. GRZEGORZ KRZESIŃSKI
 Politechnika Warszawska

Obliczanie czasu inicjacji pęknięcia zmęczeniowego

Niektóre elementy konstrukcyjne samolotów bojowych w pewnych fazach lotu przenoszą naprężenia przekraczające lokalnie (w karbach) granicę plastyczności materiału. Pęknięcia zmęczeniowe zainicjowane w tych miejscach rozwijają się bardzo szybko, a ich wymiary krytyczne są zbyt małe, aby możliwe było ich wykrycie przed stanem awaryjnym. Trwałość elementu jest wówczas określona czasem inicjacji pęknięcia.

Stan taki rzadko jest zgodny z zamierzeniem konstruktora. Najczęściej, jak tego dowodzą wieloletnie badania poawaryjne pęknięć zmęczeniowych, jest wynikiem pewnych błędów konstrukcyjnych, fabrycznych lub materiałowych, a także zmian lub błędów w sposobie użytkowania samolotu.

Jeżeli chodzi o element decydujący o bezpieczeństwie latania, trzeba w możliwie krótkim czasie odpowiedzieć na wiele pytań, np.: czy i przy jakich ograniczeniach jest możliwa dalsza eksploatacja elementu, w jaki sposób wpływają na trwałość określone zmiany kształtu i właściwości materiału, elementu i in. W takich i podobnych sytuacjach zaistniała potrzeba zastąpienia drogich i czasochłonnych badań stoiskowych — badaniami symulacyjnymi.

Od wielu lat są podejmowane próby komputerowego modelowania procesu zmian zachodzących w materiale pod wpływem określonych obciążeń zmiennopłytowych. Dotychczas stan wiedzy o zmęczeniu metali nie daje jeszcze dobrych podstaw teoretycznych do budowania modeli inicjacji pęknięć zmęczeniowych. Trudność polega na tym, że zjawiska zachodzące w ciele rzeczywistym nie poddają się opisom na gruncie mechaniki ośrodka ciągłego. Konieczne jest opracowanie takich modeli ciał, które uwzględniałyby ich rzeczywistą strukturę z mikrosczelinami i innymi nieciągłościami. Badania takie znajdują się dopiero w początkowym stadium rozwoju.

W tej sytuacji istniejące modele inicjacji pęknięć są propozycjami pewnych procedur obliczeniowych, których zastosowanie ma sens tylko w odniesieniu do tych materiałów i obciążeń, dla których zostały doświadczalnie sprawdzone. Dokładność oceny całkowitego czasu inicjacji pęknięcia nie jest duża. Jednak gdy chodzi o porównanie wariantów obciążeń i charakterystyk materiałowych pod względem trwałości elementu, oceny są dokładniejsze, bowiem w przypadku obliczania różnic czasu inicjacji pęknięcia nieznany błąd metody jest eliminowany. Do tych właśnie porównań stosuje się modele inicjacji.

Podstawy fizyczne modelu

Metoda obliczania czasu inicjacji pęknięcia dotyczy elementu z karbem. Opiera się ona na pewnej analogii zjawisk cyklicznych sprężysto-plastycznych zachodzących w dnie karbu elementu konstrukcyjnego i w próbce gładkiej poddanej zmęczeniu przy małej liczbie cykli.

Z analiz teoretycznych i badań doświadczalnych [1 ÷ 4] wynika, że w samym dnie karbu można wyodrębnić pasemko materiału o grubości ok. 0,1 ÷ 0,2 mm, w którym istnieje jednorodny stan naprężeń i odkształceń plastycznych. Przyjmuje się, że zniszczenie tego pasemka oznacza zakończenie etapu inicjacji, a zarazem rozpoczęcie etapu propagacji pęknięcia zmęczeniowego. Z tych obserwacji wynika, że czas inicjacji pęknięcia można obliczyć na podstawie wykresu zmęczenia materiału przy małej liczbie cykli dla próbek gładkich pod warunkiem, że potrafimy określić poziom cyklicznych naprężeń i odkształceń w dnie karbu oraz regułę kumulacji uszkodzeń zmęczeniowych powstających kolejno w poszczególnych cyklach obciążeń.

Model obliczeniowy

Zastosowany algorytm określa kolejno, nawrót po nawrocie, sprężysto-plastyczne naprężenia i odkształcenia w dnie karbu. W tym celu zastosowano wzór Neubera:

$$\Delta \varepsilon \cdot \Delta \sigma = (\alpha_k \cdot \Delta S)^2 / E \quad (1)$$

gdzie:

α_k — współczynnik kształtu karbu,

E — moduł Younga,

$\Delta S = S_i - S_{i-1}$ — zakres naprężeń nominalnych w przekroju karbu,

$\Delta \varepsilon, \Delta \sigma$ — zakresy odpowiednich odkształceń i naprężeń w karbie, a także, uważany za dokładniejszy [3, 4], związek całkowy:

$$(\alpha_k \cdot \Delta S / E)^2 = 2 \int_{i-1}^i \Delta \sigma \cdot d(\Delta \varepsilon) \quad (2)$$

wynikający z tzw. energetycznej interpretacji współczynnika karbu.

Zachowanie się materiału w warunkach naprężeń cyklicznie zmiennych w zakresie pozasprężystym opisano równaniem Ramberga-Osgooda:

$$\varepsilon = \sigma / E + (\sigma / K')^{1/n'} \quad (3)$$

gdzie:

K', n' — stałe materiałowe,

a także związkiem określającym pętle histerezy plastycznej:

$$\Delta \varepsilon / 2 = \Delta \sigma / 2E + (\Delta \sigma / 2K')^{1/n'} \quad (4)$$

gdzie:

$\Delta \varepsilon = \varepsilon_i - \varepsilon_{i-1}$ — przyrost odkształcenia względem ostatniego nawrotu,

$\Delta \sigma = \sigma_i - \sigma_{i-1}$ — odpowiedni przyrost naprężeń.

Model uwzględnia również występowanie „pamięci” materiału określonej zasadą: jeżeli podczas realizacji aktualnego nawrotu odkształcenie osiągnie wartość, przy której zaczęto realizację nawrotu poprzedniego (co oznacza zamknięcie pętli histerezy), to dalsze odkształcenie następuje wg zależności stosowanej przed rozpoczęciem realizacji zamkniętej właśnie pętli.

Realizacja numeryczna algorytmu została przeprowadzona przez aproksymację krzywej (3) za pomocą odcinków liniowych oraz konstruowanie ciągu iteracyjnych zmian wartości σ i ε w ruchu po pętłach histerezy, kończącego się spełnieniem związku (1) lub (2) z żadaną dokładnością względną.

Wyznaczone w opisany sposób przebiegi lokalnych naprężeń i odkształceń w karbie pozwalają na oszacowanie (w dalszym etapie obliczeń) stopnia uszkodzenia zmęczeniowego wywołanego obciążeniami o zadanym widmie. W tym celu wykorzystano zależność znaną pod nazwą równania Morrowa.

$$\Delta \varepsilon_i / 2 = \varepsilon'_f (2N_f)^c + (\sigma'_f - \sigma_m) / E \cdot (2N_f)^b \quad (5)$$

gdzie:

$\varepsilon'_f, c, \sigma'_f, b$ — stałe materiałowe,

$2N_f$ — liczba nawrotów do pojawienia się szczeliny zmęczeniowej

przy stałopłytowym cyklu o zakresie odkształceń całkowitych $\Delta \varepsilon$,

σ_m — naprężenie średnie w cyklu.

W modelu zastosowano liniową hipotezę kumulacji uszkodzeń, wg której dla każdej wartości N_f obliczonej z równania (5) dla każdego kolejnego nawrotu wyznaczono uszkodzenie wg wzoru:

$$D_i = 1 / 2N_f \quad (6)$$

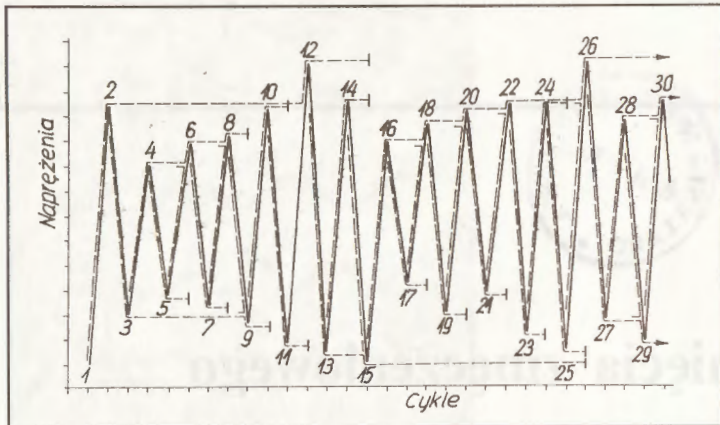
przy czym, zgodnie z hipotezą, D_i przybiera wartości z przedziału (0, 1). Po obliczeniu dla kolejnych nawrotów uszkodzenia sumowano:

$$D = \sum_{k=0}^i D_k \quad (7)$$

Trwałość, będąca celem obliczeń, jest wyznaczana przez końcową wartość D dla widma lub też przez parametr:

$$W = 1/D \quad (8)$$

określając liczbę powtórzeń zadanego widma obciążeń, która doprowadza do inicjacji pęknięcia zmęczeniowego. Warto zauważyć, że mimo zastosowania liniowej hipotezy kumulacji uszkodzeń opisywana metoda uwzględnia wpływ kolejności obciążeń dzięki przyjętemu modelowi zachowania się materiału w warunkach obciążeń cyklicznych (4), a także dzięki uzależnieniu uszkodzenia zmęczeniowego D od naprężenia średniego σ_m przez równanie (5).



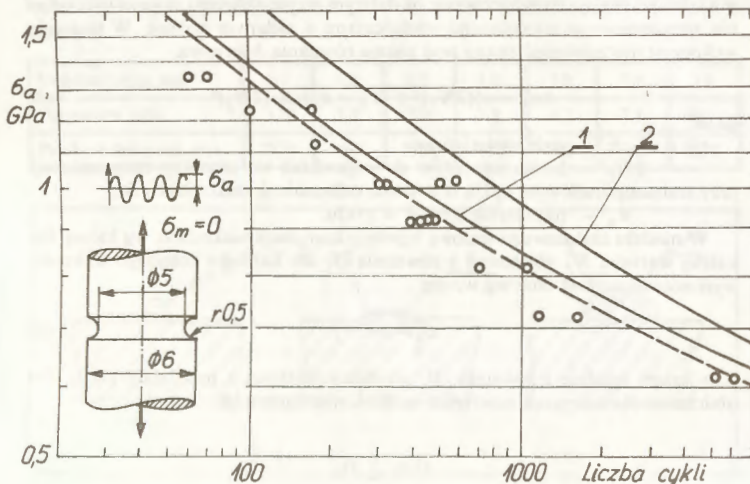
Rys. 1. Metoda kropli deszczu zliczania cykli zmęczeniowych

Oprócz ww. metody nawrotów, zastosowano również inny sposób zliczania cykli zmęczeniowych zwany metodą kropli deszczu (lub metodą obwiedni, także „rain flow”). Istotą tej metody ilustruje rys. 1. Wyobraźmy sobie, że po linii zapisu przebiegu obciążeń ustawionej osią czasu pionowo i początkiem ku górze, spływają krople deszczu. Startują one od punktu początkowego zapisu lub od wnętrza każdego wierzchołka. Poszczególne nawroty, uwzględniany następnie w obliczeniach, jest wyznaczony przez punkt startu kropli i punkt, w którym kropla:

- napotyka na swej drodze kroplę spływającą z wyższego poziomu, albo
- znajdzie się w punkcie leżącym naprzeciw wierzchołka zapisu arytmetycznej metody kropli deszczu (lub równego) od tego, z którego wystartowała, albo
- osiągnie koniec oscylogramu.

Zgodnie z tą metodą, z przebiegu obciążeń na rys. 1 zostaną wzięte pod uwagę kolejno następujące nawroty: 1–12, 2–9, 3–8, 4–5, 6–7, 10–11, 12–15, 13–14, 15–26, 16–17, 18–19, 20–21, 22–23, 24–25, 26–29, 27–30, podczas gdy wg metody nawrotów zostaną zliczone wszystkie, tj. 1–2, 2–3, 3–4, ..., 29–30.

Metoda kropli deszczu eliminuje z widma obciążeń te półcykle, których zakres jest częścią półcyklu wcześniejszego „spływającego” do danego półcyklu. Zliczanie uszkodzeń obiema metodami daje zwykle podobne rezultaty (identyczne dla obciążeń stałoaamplitudowych). Jednak dla niektórych przebiegów obciążeń metoda kropli deszczu daje wyniki wyraźnie różniące się od wyników metody nawrotów. Widać to szczególnie wyraźnie wtedy, gdy obciążenia są sumą dużych obciążeń wolnozmiennych i małych szybkozmiennych. Metoda nawrotów daje wtedy oceny zawyżone. Dlatego metoda kropli deszczu uchodzi za metodę lepiej przemyślaną i bardziej wiarygodną.



Rys. 2. Weryfikacja doświadczalna modelu obliczeniowego na próbce z karbem. Linie ciągłe dotyczą $\alpha_k = 2,17$: 1 – wg wzoru Neubera, 2 – wg wzoru całkowitego, linia przerywana dotyczy $\alpha_k = 2,25$ wg wzoru Neubera

Program symulacyjny realizujący przedstawiony algorytm pozwala na prowadzenie obliczeń dowolnie wybraną metodą: równanie (1) lub (2), metoda nawrotów lub kropli deszczu w zależności od parametrów podanych w zbiorze danych, różne wartości współczynników α_k i współczynników skalujących naprężenia nominalne. Uwzględniono możliwość automatycznego budowania widma obciążeń jako dowolnej żądanej kombinacji typowych przebiegów obciążeń eksploatacyjnych elementów samolotu.

Program zbudowany w opisany sposób wymaga niewielkiego obszaru pamięci operacyjnej komputera i stosunkowo krótkich czasów egzekucji. Przykładowo wykonanie programu na minikomputerze SM-4 przy długości widma ok. 1000 nawrotów wymaga kilkadziesiąt sekund.

Badania doświadczalne

Model obliczeniowy sprawdzono doświadczalnie na próbkach okrągłych z karbem obrączkowym o kształcie pokazanym na rys. 2, wykonanych ze stali lotniczej o symbolu 30HGSNA o następujących stałych materiałowych: $E = 2 \cdot 10^5$ MPa, $\sigma_f = 2834$ MPa, $b = -0,086$, $e_f = 0,379$, $c = -0,587$, $K' = 3230$ MPa, $n' = 0,1515$. Charakterystyki te wyznaczono na próbkach z tego samego wytopu co ww. próbki.

Próby zmęczeniowe przeprowadzono przy stałej amplitudzie w cyklu symetrycznym i niesymetrycznym. Pęknięcie obserwowano za pomocą mikroskopu stereoskopowego i defektoskopu wiroprowadowego.

Wyniki prób zmęczeniowych i obliczeń dla cyklu symetrycznego (naprężenie średnie $\sigma_m = 0$) przedstawiono na rys. 2., zaś dla cykli niesymetrycznych – w tabl. 1. Jak widać na rys. 2 liczby cykli ocenione na podstawie związku całkowitego (2) są wyraźnie zawyżone w porównaniu z wynikami

TABLICA 1. Liczby cykli okresu inicjacji pęknięcia zmęczeniowego dla obciążeń niesymetrycznych

σ_a , MPa	Źródło wyniku	Naprężenia średnie σ_m , MPa				
		-300	-200	0	+200	+300
700	doświadczenie	1810	–	1600	–	1400
	doświadczenie	1820	–	1160	–	1275
	2,17	4078	–	3041	–	2272
	2,25*	3142	–	2404	–	1839
800	doświadczenie	–	752	700	900	–
	doświadczenie	–	950	1100	820	–
	2,17	–	1527	1354	1193	–
	2,25*	–	1230	1093	974	–

*) Wartości współczynnika α_k przyjęte do obliczeń w równaniach (1) i (2)

doświadczalnymi (krzywa 2). Lepszą zgodność uzyskano dla równania Neubera (krzywa 1). Należy jednak podkreślić, że wyniki oceny są uzależnione od przyjętej do obliczeń wartości współczynnika kształtu $\alpha_k = 2,17$. Na rys. 2 (linia przerywana) i w tabl. 1 podano wyniki obliczeń dla $\alpha_k = 2,25$ i wzoru Neubera. Jak widać, są one bliższe wynikom doświadczalnym. Dokładne oględziny mikroskopowe próbki wykazały, że ze względu na wysoką twardość badanej stali klasa dokładności kształtu i gładkości powierzchni karbu były niższe niż wymagane zazwyczaj do prób zmęczeniowych. Dlatego rzeczywista wartość α_k badanych próbek była z pewnością wyższa niż przyjęta do obliczeń wartość teoretyczna, określona dla nominalnego kształtu karbu. Oznacza to, że zgodność oceny okresu inicjacji z doświadczeniem może być w rzeczywistości lepsza niż to wynikało z położenia krzywej 1 na rys. 2, pod warunkiem jednak wprowadzenia do obliczeń wartości α_k możliwie dokładnie odpowiadającej rzeczywistemu kształtowi karbu. Warto wspomnieć, że niektórzy autorzy [7] zamiast współczynnika kształtu α_k zalecają używać współczynnik działania karbu β_k , który jest ilorazem wytrzymałości zmęczeniowej próbki gładkiej do próbki z karbem.

Przykład zastosowania modelu

Obliczenia wykonano dla belek skrzydeł samolotu szkolno-bojowego typu Lim-2, który badano w związku z przedłużaniem jego okresu eksploatacji.

Naprężenia eksploatacyjne w wybranych, najbardziej obciążonych przekrojach belki zarejestrowano metodą tensometryczną podczas wykonywania określonych zadań przez sześciu pilotów. Na rys. 3 pokazano przebiegi tych naprężeń po wprowadzeniu pewnych uproszczeń. Jak widać, mimo identyczności zadań postawionych przed każdym pilotem, uzyskane przebiegi różnią się między sobą. Różnice dotyczą głównie poziomów naprężeń, liczby

Przykład liczbowy

W OBR SK Mielec prowadzono badania dynamicznie podobnego modelu korkociągowego samolotu PLZ M-24 Dromader Super (rys. 2) wykonanego w skali 1:8,5, napędzanego spalinowym silnikiem modelarskim o pojemności 10 cm³, sterowanego zdalnie aparaturą radiową.

- Danymi wyjściowymi będą charakterystyki samolotu M-24 Dromader Super:
- rozpiętość płata $b_N = 20$ m,
 - masa $m_N = 4200$ kg,
 - moc silnika maks. $N_N = 590$ kW,
 - prędkość obrotowa śmigła $n_N = 1700$ obr/min.

Skala wymiarów liniowych 1:8,5, stąd $k_l = 0,11765$.

Zakładając, że badania modelu będziemy prowadzić na wysokości odpowiadającej wysokości lotu samolotu, otrzymamy $k_p = 1$:

- rozpiętość modelu $b_M = k_l \cdot b_N = 0,11765 \cdot 20 = 2,353$ m,
- masa modelu $m_M = k_l^3 \cdot m_N = (0,11765)^3 \cdot 4200 = 6,48$ kg,
- moc silnika maks. $N_M = k_l^{3,5} \cdot N_N = (0,11765)^{3,5} \cdot 590 = 0,329$ kW,
- obroty śmigła $n_M = \frac{1}{\sqrt{k_l}} \cdot n_N = \frac{1700}{\sqrt{0,11765}} = 4956$ obr/min.

* * *

Zalety przedstawionego w niniejszym opracowaniu podejścia do zagadnień dynamiki lotu samolotu są następujące:

- stosunkowo niski koszt prowadzenia takich badań,
- możliwość określenia charakterystyk wejścia i wyjścia z korkociągu, co jest jak dotychczas nieosiągalne metodą analityczną,
- uzyskanie niezbędnych danych do ewentualnych zmian konstrukcyjnych prototypu samolotu (zmiany powierzchni usterzeń, ich wzajemnego położenia itd.) już na etapie projektu wstępnego,

- określenie wymiarów i sposobu usytuowania spadochronu antykorkociągowego potrzebnego do prób korkociągowych prototypu,
- zmniejszenie do możliwego minimum ryzyka katastrofy prototypu w próbach korkociągowych.

Prowadzenie tego rodzaju badań zmierzających do zweryfikowania przewidywanych właściwości dynamicznych samolotu w poszczególnych fazach korkociągu jest celowe i powinno stanowić stały element procesu projektowania samolotu. Jakkolwiek na podstawie takich badań nie dowodzi się przydatności samolotu do lotu ze względu na korkociąg, to uzyskane informacje są niezwykle cenne chociażby dlatego, że na ich podstawie można opracować instrukcje pilotażu dla nowej przecież konstrukcji, o nie znanych jeszcze właściwościach lotnych.

Chociaż ostatecznym dowodem przydatności samolotu do lotu ze względu na właściwości dynamiczne w korkociągu są próby w locie prototypu, to jednak badania modelowe mogą w istotny sposób ograniczyć zakres tych prób, a więc mogą również zmniejszyć koszty i czas wytworzenia prototypu.

LITERATURA

1. J. BUKOWSKI, W. ŁUCJANEK: Napęd śmigłowy, teoria i konstrukcja. Wyd. MON Warszawa 1986
2. J. BUKOWSKI, P. KIJOWSKI: Kurs mechaniki płynów. PWN, Warszawa 1980
3. W. FISZDON: Mechanika lotu, cz. I. PWN, Warszawa 1952
4. H. HOSSDORF: Statyka modelowa. Arkady 1975
5. R.H. CANNON: Dynamika układów fizycznych. WNT, Warszawa 1973
6. T.S. BOWMAN jr., S.M. BURK jr., H.P. STOUGH, J.M. PATTON jr.: Correlation of Model and Airplane Spin Characteristics for a Low-Wing General Aviation Research Airplane. AIAA Aircraft Systems and Technology Conference, Los Angeles, California, August 21–23 1978
7. S.M. BURK jr., J.S. BOWMAN jr., W.L. WHITE: Spin-Tunnel Investigation of the Spinning Characteristics of Typical Single-Engine General Aviation Airplane Design. NASA Technical Paper 1076, January 06.1978
8. S.M. BURK jr., C.F. WILSON jr.: Radio-Controlled Model Design and Testing Techniques for Stall/Spin Evaluation of General-Aviation Aircraft. National Business Aircraft Meeting, Wichita, Kansas, April, 8–11, 1975
9. A.K. MARTYNOW: Eksperymentalnyje issledowanija po aerodinamike wiertolota. Izdatiel'stvo Maszynostrojenije, Moskwa 1972

TOMASZ MAKOWSKI

Uszczelnianie konstrukcji (II)

2.4. Przemiana produktów

Polimeryzacja produktów uszczelniających zaczyna się natychmiast po ich usunięciu z opakowania (przez odparowanie rozpuszczalników). Jej prędkość wzrasta wraz ze wzrostem temperatury i wilgotności otoczenia. Dla produktów dwuskładnikowych parametry te bierze się pod uwagę od chwili dokładnego wymieszania składników. Prędkość tej reakcji jest różna (zależnie od gatunku produktu) i musi być podana w dokumentach produkcyjnych. Przemiany produktu określają ponadto inne zjawiska fizyczne, których znajomość pozwala na prawidłowe jego wykorzystanie. Możliwość wykorzystania produktów jest określona także przez cztery podstawowe czasy:

- czas zastosowania (użycia),
- czas prac lub montażu,
- czas utraty przyczepności,
- czas polimeryzacji.

W wyniku reakcji chemicznych większość produktów uszczelniających przekształca się w masę podobną do gumy o różnej twardości (np. Shore-a), zależnie od rodzaju produktu.

Czas zastosowania (użycia) to czas, w którym produkt uszczelniający gotowy do użycia może być stosowany normalnie w danej temperaturze i wilgotności dla określonego sposobu użycia (narzędzia – pędzla, szpatułki czy pistoletu). Czasy te podano w tabl. 2, zależnie od produktów i ich zastosowania ogólnego. Dostawca może zapewnić dobrą jakość produktu z różnymi czasami zastosowania, do zastosowań specjalnych (np. PR 1221B1/2 – PR 1221B2 – PR 1221B4, co oznacza, że wskazany czas zastosowania może wynosić odpowiednio 30 min, 2 h i 4 h przy temp. 25°C i wilgotności 50%). Dostawcy wskazują ogólne czasy zastosowania w temp. 25°C i wilgotności 50%. Czasy te maleją przy wzroście temperatury i odwrotnie. Podwyższona wilgotność w chwili przygotowania produktu skraca czas jego zastosowania. Aby przekonać się praktycznie, czy produkt uszczelniający jest jeszcze przydatny, należy spróbować nanieść go szklaną bagietką na czystą blachę. Jeśli produkt pociągany bagietką nie wykazuje przyczepności do blachy, oznacza to, że czas zastosowania został już przekroczony.

Czas pracy lub czas montażu (łączenia) to czas upływający od chwili, gdy produkt jest gotowy do użycia do chwili wystąpienia pierwszych oznak elastyczności zbliżonej do gumy. Jeśli produkt jest określany przez czas pracy i wskazówki co do jego wykorzystania, ważne jest, by nie pomylić czasu pracy z czasem zastosowania. Części łączone i uszczelniane muszą stykać się z produktem uszczelniającym przez okres czasu zastosowania. Mocowania prowizoryczne lub ostateczne (omówione dalej w p. 3.3) muszą być wykonane w czasie pozwalającym produktowi uszczelniającemu na płynięcie podczas łączenia. Dla produktów międzywarstwowych czasy zastosowania i czasy pracy są takie same.

Czas utraty przyczepności to czas, po którym zanika tendencja do przyklejania się produktu uszczelniającego do powierzchni. Element wykonany z polietylenu po położeniu na produkt uszczelniający nie powinien przyklejać się do niego przy odejmowaniu od powierzchni produktu. Utrata przyczepności określa chwilę, gdy można położyć drugą warstwę produktu – jest to więc odpowiednik „czasu manipulacyjnego” dla farb.

Czas polimeryzacji (siecienia) jest czasem koniecznym do uzyskania przez produkt twardości maksymalnej. Czas ten zależy od:

- czasu zastosowania,

- temperatury otoczenia,
- temperatury materiału podczas użycia,
- poziomu wilgotności.

Ewentualna próba szczelności może być przeprowadzona tylko po polimeryzacji produktu.

Ogólnie biorąc, wszystkie podane czasy zmieniają się zależnie od produktu i warunków otoczenia. Ich dokładna znajomość jest bardzo istotna dla prawidłowego stosowania produktu uszczelniającego. Wykresy na rys. 6, 7, 8 i 9 po-

TABLICA 2. Czasy zastosowania produktów uszczelniających

Kl.	Symbol	Właściwości (narzędzia)	Czas zastosowania, h	Zastosowanie
1	EG-A1/2	duża przyczepność (pędzel)	1/2	naprawa nieszczelności
	EG-A2		2	uszczelnianie ogólne (struktury, elementy złączone, uszczelnianie zgrubne)
1	EG-B1/2	duża przyczepność	1/2	uszczelnianie ogólne (struktury)
	EG-B2	(pistolet lub szpatułka/ /szpachelka)	2	
	EG-B4		4	
2	EP-B2	do tworzyw akrylowych (pistolet lub szpatułka/ /szpachelka)	2	okna i osłony kabiny
3	ER-A1/2	duża przyczepność (pędzel)	1/2	zbiorniki paliwa, pogrubienia uszczelniające, elementy łączone
	ER-A2		2	
3	ER-B1/2	duża przyczepność	1/2	zbiorniki paliwa, uszczelnianie ogólne
	ER-B2	(pistolet lub szpatułka/ /szpachelka)	2	
4	ED-A1/2	ślaba przyczepność (pędzel)	1/2	drzwi i części odejmovane
	ED-A2		2	
4	ED-B1/2	ślaba przyczepność	1/2	drzwi i części odejmovane
	ED-B2	(pistolet lub szpatułka/ /szpachelka)	2	
5	ES	powolne utwardzanie (pistolet lub szpatułka/ /szpachelka)	10	międzywarstwowa dla dużych powierzchni
6	EE	duża przyczepność (pistolet)	2	wypełnianie i otulanie, połączenia elektryczne
7	EF-J	bardzo mała lepkość (pędzel, zanurzanie, wypełnianie + opróżnianie)		wykończenie wewnętrzne zbiorników
7	EF-L			