

*Centralny Program
Badawczo · Rozwojowy*

p.n. Kompleksowy Rozwój Energetyki

*Instytut Maszyn Przepływowych PAN
w Gdańsku*

ENERGETYKA WODNA

Naprawa uszkodzeń kawitacyjnych w elektrowniach
wodnych

INFORMATOR

NAPRAWA USZKODZEN KAWITACYJNYCH W ELEKTROWNIACH WODNYCH
PORADNIK

autorzy : prof.zw.hab.inż. Zbigniew Zaczek

Politechnika Gdańska
Instytut Technologii Materiałów Maszynowych
i Spawalnictwa
80-952 Gdańsk, ul. Majakowskiego 11/12

mgr inż. Ryszard Daszkiewicz
Zakłady Remontowe Energetyki
Gdańsk, ul. Na Stępcie 1a

Sprawdzający : doc.dr hab.inż. Zbigniew Królikowski
Politechnika Gdańska

Opiniujący : mgr inż. Bogusław Zakrzewski
kierownik Oddziału Remontów Urządzeń Ciepłno-Mechanicznych
Zakładów Remontowych Energetyki w Gdańsku

Redaktor : dr inż. Tadeusz Krzysztofowicz

Wydawca : Dział Dokumentacji Technicznych IMP PAN w Gdańsku,
nakład 50 egzemplarzy, wydano : październik 1990 r.

1. Wstęp	4
2. Organizacja i planowanie napraw	4
2.1. Znaczenie remontów dla pracy elektrowni wodnej	4
2.2. Organizacja i zadania gospodarki remontowej w elektrowniach wodnych	4
2.3. Rodzaje prac remontowych w elektrowniach wodnych	5
2.4. Metody remontowania urządzeń elektrowni wodnych	7
2.5. Planowanie remontów urządzeń elektrowni wodnej	11
2.6. Zasady organizacji obsługi remontowej elektrowni wodnej	13
2.7. Środki do remontu turbiny wodnej i personel remontowy	17
2.8. Przygotowanie stanowisk remontowych	24
3. Weryfikacja uszkodzeń kawitacyjnych	26
3.1. Uszkodzenia kawitacyjne turbin wodnych	26
3.2. Pomiary uszkodzeń kawitacyjnych	31
4. Przygotowanie uszkodzeń kawitacyjnych do naprawy	42
4.1. Sposoby przygotowania uszkodzeń kawitacyjnych do naprawy	42
4.2. Wycinanie metalu w obszarze uszkodzeń kawitacyjnych	43
4.3. Kontrola jakości przygotowania uszkodzeń do naprawy	51
5. Naprawa uszkodzeń kawitacyjnych	53
5.1. Sposoby napraw uszkodzeń kawitacyjnych	53
5.2. Techniki wypełniania ubytków kawitacyjnych	55
5.3. Kontrola jakości naprawy	74
6. Obróbka powierzchni po wypełnieniu ubytków kawitacyj- nych i odbiór naprawionych elementów turbiny wodnej	78
6.1. Obróbka wykańczająca nadlewów wypełnień	78
6.2. Kontrola jakości naprawy po obróbce wykańczającej	78
6.3. Odbiór naprawionych elementów turbin wodnych	85
7. Bezpieczeństwo i higiena pracy przy naprawie uszkodzeń kawitacyjnych turbin wodnych	86
7.1. Bezpieczeństwo i higiena pracy przy przygotowaniu miejsca naprawy	86
7.2. Bezpieczeństwo i higiena pracy przy przygotowaniu uszkodzeń do naprawy	87
7.3. Bezpieczeństwo i higiena pracy przy naprawie uszkodzeń	89
7.4. Bezpieczeństwo i higiena pracy przy kontroli i odbiorze naprawionych elementów turbiny	91
Literatura	92

1. Wstęp

W poradniku podano w ogólny sposób zagadnienia organizacji i planowania napraw uszkodzeń kawitacyjnych elementów turbin wodnych, weryfikację uszkodzeń kawitacyjnych, przygotowanie uszkodzonych obszarów do naprawy, technologię naprawy uszkodzeń kawitacyjnych, sposoby obróbki powierzchni po wypełnieniu ubytków kawitacyjnych i odbioru naprawionych elementów turbiny oraz zagadnienia bezpieczeństwa i higieny pracy przy naprawie uszkodzeń kawitacyjnych turbin wodnych.

Poradnik jest przeznaczony dla pracowników inżynieryjno-technicznych zakładów remontowych energetyki i elektrowni wodnych.

W krajowych elektrowniach wodnych zostały kolejno zainstalowane turbiny wodne, które charakteryzują się wzrastającą mocą turbozespołów, co osiągnięto zwiększeniem wymiarów turbin, wzrostem prędkości obrotowej oraz wysileniem parametrów pracy /tabl.1/. W związku z tym nabierają znaczenia zagadnienia zwiększenia żywotności turbin wodnych, zwiększenia przebiegów międzynaprawczych turbin i ulepszenia technologii napraw występujących w nich uszkodzeń kawitacyjnych.

Jednym z ważniejszych czynników wyznaczających żywotność turbin wodnych jest odporność ich elementów przepływowych na kawitację i erozyjne działanie rumowiska wodnego. Na elementach tych przy kawitującym strumieniu wody pojawiają się ogniska zniszczeń w postaci zmatowienia powierzchni, gąbczastości i porowatości. Z czasem erozja kawitacyjna obejmuje coraz większą powierzchnię i przemieszcza się w głąb materiału. Powstające uszkodzenia stają się dodatkowymi wzbudnikami kawitacji. W końcowej fazie zniszczenie kawitacyjne, na ogół nierównomiernie rozłożone na obwodach wirników turbin, komór wirników i kierownic, powodują nierównomierność przepływu wody, zmniejszenie użyteczności przepływu a niekiedy także utratę stanu wyważenia wirnika, objawiającą się zwiększonymi drganiami wirnika. W efekcie trzeba wyłączyć turbinę z ruchu dla naprawy zniszczeń kawitacyjnych.

Doświadczenia eksploatacyjne dużych elektrowni wodnych wskazują, że zniszczenia kawitacyjne występują w większości turbin, a ich intensywność zależy od konstrukcji kanałów przepływowych turbiny, materiałów i jakości wykonania elementów turbiny, parametrów pracy i warunków eksploatacji turbiny. Dlatego intensywność zniszczeń

Tabela 1. Charakterystyki turbin wodnych

Elektrownia wodna	Typ turbiny Rok budowy	Parametry turbiny				Materiały ^{1/}			
		Moc MW	Spad nominalny m	Średnica wlotowa wirnika mm	Nominalna prędkość obr/min	Komora wirnika	Łopata kierownicy	Łopata wirnika	Piasta wirnika
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Bielikowo	Francisa 1923-1926	2,3	42,0	-	500	-	-	-	-
Czchów 1	Kaplana 1954	4,0	7,85	-	150	-	-	-	-
Czchów 2	Kaplana 1950	4,4	9,0	-	150	-	-	-	-
Dębe	Kaplana 1960	7,2	5,7	4800	83,3	-	-	-	-
Dychów 1,3	Kaplana 1950	26,1	25,8	4000	187,5	-	-	LH14	LII450
Dychów 2	Kaplana 1950	27,3	25,8	3880	187,5	-	-	LH14	LII450
Gródek 1,2	Francisa 1918	1,28	18,0	-	300	-	-	-	-
Gródek 3	Francisa 1927, 1976	1,55	18,0	1040 ^{3/}	375	-	-	St3S	L20G
Koronowo	Kaplana 1960	12,8	26,0	3280	214,3	LI400	L20G	LH14	L20G
Myczkowice	Kaplana 1961	4,15	22,7	-	300	-	-	-	-
Porąbka 1,2	Kaplana 1953	6,0	20,4	2410	250	-	-	-	-
Porąbka 3	Kaplana 1953	0,5	22,7	740 ^{3/}	428	-	-	-	-
Rożnów	Kaplana 1942	14,0	31,0	3000	214,3	-	-	-	-
Solina	Francisa 1967-1968	48,0 ^{2/}	50,0 ^{2/}	4100	136,5	-	LH14	LH14	L20G
Tresna	Kaplana 1967	11,0	20,4	2960	214,3	-	-	-	-
Włocławek	Kaplana 1969-1970	27,8	8,8	8000	57,7	-	-	LH14	L20G
Wrzeszczyn1	Kaplana 1927	3,24	15,0	2150	214,3	-	L20G	LH14	L20G
Wrzeszczyn2	Kaplana 1927, 1972	1,37	15,0	1450	300	-	L20G	plater 1H18N9T	L20G
Żarnowiec	Francisa 1982-1983	168,5 ^{2/}	111,0 ^{2/}	6000	166,7	LH14 ^{4/}	LH14	LH14 ^{5/}	L20G
Żar-Porąbka	Francisa 1979	128,4 ^{2/}	416,0 ^{2/}	2918	600	-	LH14	LH14	LH14
Żur 1	Kaplana 1930, 1987	4,4	15,2	2400	250	plater H13IS	-	LII450	-
Żur 2	Kaplana 1930, 1976	4,4	15,2	2400	250	LII450	-	LII450	-
Żydowo 1,2	Francisa 1970	50,0 ^{2/}	81,0 ^{2/}	4500 ^{3/}	187,5	-	L20G	LH14	L20G
Żydowo 3	Francisa 1970	52,0	77,4	3151 ^{3/}	250	-	Novoston	LH14	L20G

1/ Jako materiały podano krajowe odpowiedniki materiałów zastosowanych przez producenta turbiny lub wprowadzonych przy remoncie turbiny.

2/ Przy pracy maszyny odwracalnej jako turbiny.

3/ Średnica wlotowa wirnika.

4/ Pierścień wirnika.

5/ Powierzchnie części przepływowej napawane stopiwem 16+18,5% Cr.

kawitacyjnych nie jest jednakowa w różnych turbinach wodnych i nie zawsze istnieje możliwość prognozowania jej rozwoju.

Na zniszczenia kawitacyjne są narażone zwłaszcza elementy turbin wykonane ze staliw węglowych konstrukcyjnych /np. LII450 wg PN-85/H-83152/ i staliw stopowych konstrukcyjnych /np. L20G wg PN-79/H-83156/. Odporniejsze na erozję kawitacyjną są elementy turbin wykonane ze staliw stopowych odpornych na korozję /np. LH14 wg PN-77/H-83158/. Okoliczność tę należy uwzględniać przy naprawach zniszczeń kawitacyjnych na elementach turbin.

W czasie remontu turbiny ubytki kawitacyjne na elementach turbin wypełnia się głównie przez napawanie łukiem elektrycznym spoiwami stalowymi. Przy właściwym doborze spoiwa i technologii napawania odporność elementów turbin na erozję kawitacyjną może być znacznie zwiększona. Stąd w ośrodkach naukowych obsługujących energetykę prowadzi się prace nad doskonaleniem materiałów konstrukcyjnych turbin, spoiw stosowanych do napawania ubytków kawitacyjnych i technologii napawania dla zwiększenia odporności elementów turbin na erozję kawitacyjną, zmniejszenia pracochłonności i polepszenia jakości napraw, a przez to zwiększenia przebiegów międzyremontowych i skrócenia postojów remontowych turbin.

W poradniku przeanalizowano doświadczenia organizacji napraw zniszczeń kawitacyjnych turbin w krajowych elektrowniach wodnych, podano wyniki opracowań i prób nowoczesnych technologii napraw zniszczeń kawitacyjnych turbin sprawdzonych w warunkach eksploatacyjnych, zapewniających nie tylko zwiększenie wydajności pracy i polepszenia jakości napraw lecz także zwiększenie odporności na erozję kawitacyjną elementów turbin napawanych specjalnymi spoiwami ze stali stopowych.

Wszystkie uwagi i życzenia dotyczące poradnika prosimy kierować do Instytutu Maszyn Przepływowych PAN, 80-231 Gdańsk-Wrzeszcz, ul. Fiszer 14.

2. Organizacja i planowanie napraw

2.1. Znaczenie remontów dla pracy elektrowni wodnej

Remont urządzeń wytwórczych ma w przemyśle, a zwłaszcza w energetyce wielkie znaczenie, ponieważ od stanu technicznego urządzeń zależy nieprzerwana i bezawaryjna praca elektrowni. Stan gotowości technicznej turbozespołów jest czynnikiem określającym stopień ich wykorzystania w elektrowni wodnej.

Dla zachowania ciągłości pracy turbozespołów, ich bezawaryjności oraz uzyskiwania optymalnych parametrów eksploatacji istnieje potrzeba prowadzenia systematycznych, planowanych i dobrych jakościowo remontów.

W procesie technologicznym wytwarzania energii elektrycznej w elektrowni wodnej następuje zużywanie się poszczególnych elementów turbiny wodnej na skutek erozji kawitacyjnej, uszkodzeń wywołanych rumowiskiem wodnym i niewłaściwej pracy turbozespołu. Przyczynia się to do powstawania przerw w pracy turbozespołów i obniżenia stopnia wykorzystania urządzeń elektrowni wodnej.

Przerwy w dostawie energii elektrycznej są przyczyną poważnych strat w gospodarce narodowej. Brak energii elektrycznej powoduje trudności w wykonaniu zadań produkcyjnych zakładów przemysłowych.

2.2. Organizacja i zadania gospodarki remontowej w elektrowniach wodnych

2.2.1. Podstawowymi warunkami utrzymania środków trwałych elektrowni wodnej w należyтым stanie technicznym jest użytkowanie ich przez personel obsługujący zgodnie z przeznaczeniem oraz warunkami określonymi w ramowych i szczegółowych instrukcjach eksploatacji urządzeń /np. ramowa instrukcja eksploatacji turbin wodnych/ oraz planowa i prawidłowa działalność remontowo-konserwacyjna.

2.2.2. Działalność remontowa powinna zapewnić wykonanie i kontrolę wszystkich przedsięwzięć organizacyjno-technicznych i ekonomicznych umożliwiających:

- opóźnienie zużycia fizycznego i starzenia się użytkowanych urządzeń,
- likwidację powstałego zużycia fizycznego lub zestarzenia się /np. przez naprawy uszkodzeń kawitacyjnych/,
- utrzymanie urządzeń w stałej gotowości technicznej spełniającej wymagania nowoczesnej techniki i ekonomiki,
- wykorzystanie zdolności produkcyjnych zgodnie z planowaną mocą przy minimalnych kosztach.

Obsługa remontowa elektrowni wodnych może być wykonywana przez służby remontowe tych zakładów, siłami własnymi lub przez zlecenie prac obcym wykonawcom.

2.3. Rodzaje prac remontowych w elektrowniach wodnych

W zależności od zakresu i celu rozróżnia się następujące rodzaje prac remontowych:

- konserwacja,
- remont bieżący,
- remont średni,
- remont główny,
- modernizacja,
- rekonstrukcja,
- remont poawaryjny.

Konserwacja. Obejmuje wszystkie roboty wykonywane w czasie eksploatacji turbiny wodnej, które mają na celu zmniejszenie szybkości zużywania się jej elementów. Prace konserwacyjne przy urządzeniach energetycznych obejmują: czyszczenie i smarowanie, systematyczne oględziny zewnętrzne w celu wykrycia wszelkich nienormalności w pracy turbiny, ochrony przed korozją itp. Prace te wykonuje personel obsługi elektrowni wodnej.

Remont bieżący. Jest remontem planowym o najmniejszym zakresie prac obejmującym naprawę lub wymianę szybko zużywających się

elementów turbozespołu oraz usuwanie usterek i drobnych uszkodzeń zagrażających bezpieczeństwu obsługi urządzenia.

Remonty bieżące należy przeprowadzać w okresach najmniejszego obciążenia energetycznego, tj. w soboty i dni przedświąteczne po szczycie energetycznym, w niedziele i święta oraz w czasie awaryjnych postojów urządzenia.

Remont średni. Jest remontem o zakresie prac obejmującym naprawę lub wymianę ważnych elementów turbiny wodnej, których stopień zużycia nie gwarantuje prawidłowego użytkowania turbiny do następnego remontu średniego lub głównego. Zakres remontu średniego wymaga częściowego demontażu turbiny wodnej i pojedynczych jej zespołów oraz prac pomiarowych i sprawdzenia stanu technicznego całej turbiny w celu uściślenia zakresu prac i terminu najbliższego remontu średniego lub głównego.

Remont średni przeprowadza się nie częściej niż raz w roku. Postoje urządzeń podstawowych elektrowni wodnej w remontach średnich są normowane, w terminy postojów ujmowane w planach rocznych.

Remont główny. Jest remontem o największym zakresie prac, jaki występuje w eksploatacji turbiny wodnej i obejmuje prace związane z przywróceniem turbinie pełnej wartości użytkowej, bądź stanu zbliżonego do pełnej wartości użytkowej.

W zakres remontu głównego turbiny wodnej wchodzi kontrola oraz naprawa lub wymiana zespołów lub poszczególnych elementów turbiny, badania i pomiary potrzebne do opracowania dokumentacji modernizacji turbiny lub produkcji części zamiennych.

Modernizacja. Obejmuje prace związane z istotnymi zmianami konstrukcyjnymi turbiny zmierzającymi do: unowocześnienia procesu technologicznego, zwiększenia mocy lub wydajności, zmniejszenia zużycia energii elektrycznej, paliwa i olejów smarnych dla potrzeb własnych, zwiększenia dyspozycyjności i niezawodności turbiny, poprawienia technologiczności remontowej oraz wydłużenia czasu pracy międzyremontowej turbiny.

Prace modernizacyjne powinny być łączone z planowanymi remontami głównymi i tak przygotowane, aby mieściły się w czasie przewidzianym dla remontu głównego.

Rekonstrukcja. Obejmuje roboty związane z odbudową lub odtworzeniem turbiny wodnej lub jej elementów bez wprowadzenia istot-

nych zmian konstrukcyjnych.

Remont poawaryjny. Przeprowadza się w celu usunięcia skutków awarii lub likwidacji stanu awaryjnego turbiny wodnej.

2.4. Metody remontowania urządzeń elektrowni wodnych

Remonty poszczególnych obiektów, grup obiektów lub urządzeń i przynależnych instalacji pomocniczych prowadzi się metodą remontów okresowych. Metoda ta polega na planowaniu i wykonywaniu remontów według z góry ustalonych dla poszczególnych obiektów normatywów remontowych, takich jak: cykle remontowe, zakresy remontów, pracochłonność remontu i czasy postoju remontowego.

Metodą remontów okresowych powinny być objęte wszystkie podstawowe urządzenia mechaniczne elektrowni wodnej, w tym turbozespoły o mocy od 5 MW wzwyż.

Przeciętny cykl remontowy turbin wodnych i pomp akumulacyjnych wynosi:

- a/ dla turbozespołów klasycznych i pomp akumulacyjnych - 5 lat,
- b/ dla turbozespołów odwracalnych - 4 lata.

W cyklu remontowym należy wykonywać remonty średnie lub bieżące w latach, w których nie przeprowadza się remontu głównego. Stosowane w kraju normatywy postojów remontowych podano w tabl.2. Podane w tablicy dolne granice normatywów postoju dotyczą turbin i pomp o mniej skomplikowanej konstrukcji i mniejszym wyposażeniu pomocniczym. Górne granice normatywów postoju dotyczą urządzeń o bardziej złożonej konstrukcji /np. turbozespoły wielowirnikowe/ i znacznym wyposażeniu pomocniczym.

Cykl remontowy turbiny wodnej oraz czas postoju w remoncie powinien być:

- a/ ustalony na podstawie badań trwałości poszczególnych elementów turbiny w określonych warunkach eksploatacji,
- b/ zróżnicowany w trakcie eksploatacji i uzależniony od wieku turbiny,
- c/ uzależniony od intensywności użytkowania turbiny,
- d/ uzależniony od powiązań technologicznych turbin pracujących w bloku energetycznym /konieczność zsynchronizowania długo-

ci okresów międzyremontowych turbin wodnych/,
e/ ustalony z uwzględnieniem warunków wynikających z bilansu
mocy krajowego systemu energetycznego.

Tabela 2. Normatywy postojów remontowych [5]

Lp.	Urządzenie	Średnica wirnika mm	Doby postoju w remoncie	
			średnim	głównym
1	2	3	4	5
1	Turbina Francisa z przekładnią Turbina śmigłowa z przekładnią	do 1500 1500-3000	8-12 12-16	14-20 28-25
2	Turbina Francisa bez przekładni Turbina śmigłowa bez przekładni	do 1500 1500-3000 3501-5000 powyżej 5000	6-10 10-15 12-18 16-20	12-18 16-22 20-26 25-32
3	Turbina Kaplana z przekładnią	do 1500 1501-3000	10-14 14-18	16-20 20-25
4	Turbina Kaplana bez przekładni	do 1500 1501-3000 3001-5000 powyżej 5000	10-14 12-16 14-18 16-22	15-20 20-25 25-35 35-45
5	Pompy akumulacyjne jednostopniowe	do 1500 1501-3000	6-10 10-16	18-22 20-25
6	Turbiny odwracalne Francisa	do 3000 3001-5000 powyżej 5000	18-22 20-25 23-28	25-35 35-40 40-45
7	Turbiny odwracalne Deriaza	do 3000 3001-5000 powyżej 5000	20-25 25-30 28-35	35-40 40-45 45-50

Dopuszcza się wykonywanie okresowych robót remontowych związanych ze specyfiką lokalną elektrowni wodnej /usuwanie uszkodzeń kawitacyjnych i wynikłych z działania rumowiska/, które wymagają dodatkowych ponadnormatywnych postojów. Postoje te zalicza się do remontów bieżących.

Normatywy zakresów remontów turbin wodnych i ich poszczególnych węzłów podano w tabl.3.

Tabela 3. Normatywy zakresów remontów [5]

Lp.	Węzeł	Rodzaj remontu	Podstawowe prace remontowe
1	2	3	4
1	Układ wirujący	średni	a/ demontaż, czyszczenie i regeneracja łożysk promieniowych /wymiana panewek łożysk gumowych, gwajakowych, lignofolowych/ b/ demontaż, czyszczenie i regeneracja łożysk nośnych, oporowych i dławnic c/ wymiana uszczelnień d/ naprawa uszkodzeń kawitacyjnych
2		główny	a/ pełny zakres prac wg punktu 1 b/ ewentualna wymiana dławnic c/ ewentualna wymiana części trących łożysk d/ demontaż, przetoczenie czopów, ew. tulejowanie wału, sprawdzenie prostoliniowości e/ regeneracja serwowatoru łopat wirnika i wymiana uszczelnień f/ demontaż, czyszczenie i regeneracja elementów wirnika /likwidacja luzów cięgieł i dźwigni, ew. wymiana uszczelnień czopów łopat wirnika/ g/ naprawa uszkodzeń kawitacyjnych h/ wyważanie wirnika
3	Aparat kierowniczy	średni	a/ demontaż, czyszczenie i konserwacja łopat kierownicy, dźwigni i cięgieł b/ wymiana uszczelnień i pojedynczych panewek c/ naprawa i konserwacja urządzenia blokującego
4		główny	a/ demontaż, czyszczenie i regeneracja łopat i uszczelnień b/ tulejowanie otworów

c.d. tabeli 3

1	2	3	4
			c/ ew.wymiana łopat i osi łopat d/ regeneracja urządzenia blokowego e/ naprawa serwowatorów f/ naprawa uszkodzeń kawitacyjnych
5	Spirala, komora wirnika	średni	a/ czyszczenie i konserwacja b/ naprawa miejsc uszkodzonych
6	rura ssąca pokrywa turbiny	główny	a/ pełny zakres prac wg punktu 5
7	Obiegi smarowania	średni	a/ czyszczenie i naprawa rurociągów, armatury, filtrów i urządzeń kontrolno-pomiarowych b/ przegląd i naprawa łożysk i dławnic agregatów pompowych c/ filtrowanie oleju
8		główny	a/ demontaż, czyszczenie i naprawa rurociągów, armatury, filtrów, agregatów pompowych b/ sprawdzenie i naprawa urządzeń kontrolno-pomiarowych c/ wymiana oleju
9	Osprzęt turbiny	średni	a/ przegląd, konserwacja i naprawa agregatów pompowych wody przeciekowej i oleju przeciekowego b/ przegląd, czyszczenie i naprawa sprzężarek, armatury, układu hamulcowego i urządzeń sterujących c/ czyszczenie i konserwacja rurociągów wody chłodzącej, filtrów, agregatów pompowych, koszy ssawnych d/ wymiana uszczelek w instalacjach e/ czyszczenie, regulacja i ew. naprawa zaworów napowietrzających i zaworów upustu jałowego
10		główny	a/ pełny zakres prac wg punktu 9 połączony z demontażem poszczególnych zespołów
11	Regulator i urządzenia automatyki	średni	a/ częściowy demontaż, czyszczenie i naprawa elementów układu regulacji b/ wymiana uszczelnień c/ wymiana pojedynczych części nadmiernie zużytych d/ przegląd, czyszczenie i naprawa łożysk i dławnic agregatów pompowych, armatury, miarkownika, wytrząsku bezpieczeństwa

1	2	3	4
	Regulator i urządzenie automatyki		e/ czyszczenie rurociągów f/ konserwacja i naprawa urządzeń automatyki g/ nastawienie układu na wymagane parametry, regulacja układu automatyki i jego współdziałania z regulatorem
12		główny	a/ pełny zakres prac wg punktu 11 połączony z demontażem poszczególnych zespołów b/ naprawa agregatów pompowych c/ sprawdzenie i naprawa połączeń obwodów elektrycznych
13	Przekładnia główna turbozespołu	średni	a/ demontaż, czyszczenie i regeneracja łożysk b/ sprawdzenie i naprawa urządzeń pomocniczych c/ przebicie pojedynczych zębów / w przekładniach o zębach z drewna/
14		główny	a/ pełny zakres prac wg punktu 13 b/ demontaż, czyszczenie i naprawa przekładni c/ ewentualna wymiana kół zębatych d/ regeneracja sprzęgła połączona z ew. wymianą wkładów elastycznych /wkład, pasów, sprężyn itp./

Normatywy pracochłonności remontów powinny być określone w każdym zakładzie w zależności od rodzaju remontowanych turbin, systemu wykonawstwa remontów, systemu zaopatrzenia w środki niezbędne do wykonania prac remontowych. Powinny one dotyczyć robót wykonywanych w turbinie oraz robót warsztatowych i regeneracyjnych, które nie mogą być wykonane poza postojem turbiny wodnej.

2.5. Planowanie remontów urządzeń elektrowni wodnej

2.5.1. Przyjmuje się zasadę oddolnej budowy planów remontów w oparciu o normatywy, cykle remontowe, terminy i zakresy prac przy jednoczesnym uwzględnieniu wytycznych określonych przez

Państwową Dyspozycję Mocy /PDM/ dotyczących mocy dyspozycyjnej.

2.5.2. Dla prawidłowego sterowania gospodarką remontową elektrowni wodnej wykonuje się następujące plany:

- plan dziesięcioletni modernizacji i remontów odtworzeniowych,
- plan pięcioletni modernizacji i remontów odtworzeniowych,
- plan roczny remontów i modernizacji,
- plan operatywny remontów i modernizacji /aktualizacja planu rocznego/.

2.5.3. Plan wieloletni remontów powinien zawierać:

- a/ obiekty wytypowane do remontów głównych i średnich,
- b/ terminy remontów i postoje remontowe,
- c/ przewidywany zakres rekonstrukcji, modernizacji lub innych robót dodatkowych,
- d/ potrzeby w zakresie ważniejszych części zamiennych, potencjału wykonawczego i dokumentacji, środków finansowych przewidzianych do zabezpieczenia i zbilansowania na wyższym szczeblu decyzyjnym.

Należy je opracowywać co 5 lat.

2.5.4. Roczne plany remontów powinny być ustalane na podstawie analizy i uściślenia planów wieloletnich z uwzględnieniem diagnostyki, ekspertyz, wyników badań oraz analizy awaryjności turbiny. W planach tych należy ująć wszelkie rodzaje remontów głównych i średnich oraz określić ich zakresy, terminy, czas postoju w remoncie i nakłady finansowe. Plany roczne opracowuje się w formie:

- a/ planów wstępnych do 30 czerwca roku poprzedzającego plan,
- b/ planów zweryfikowanych do 30 listopada roku poprzedzającego plan

2.5.5. W planach operatywnych należy uściślić zakresy remontów zgodnie z aktualnym stanem technicznym urządzeń i możliwościami wykonawstwa, bilansem mocy oraz urealnionym terminem ich przeprowadzenia.

Na podstawie operatywnie dokonanych zmian planu w poszczególnych kwartałach w porównaniu z planem rocznym należy równocześnie przeprowadzić korektę planowanych terminów i zakresów

remontów w następnych kwartałach danego roku.

2.6. Zasady organizacji obsługi remontowej elektrowni wodnej

Zależnie od mocy elektrowni, liczby pracowników, poziomu kwalifikacji personelu remontowego, ilości posiadanego sprzętu i narzędzi oraz możliwości i opłacalności zlecenia robót innym wykonawcom, wykonuje się remonty następującymi sposobami:

- systemem gospodarczym przez brygady remontowe właściciela urządzenia, np. prace konserwacyjne, remonty bieżące, prace przy likwidacji awarii,
- systemem zleconym przez zakłady remontowe, producentów urządzeń, zakłady pomiarowo - badawcze,
- systemem mieszanym, w którym roboty remontowe są wykonywane przez brygady elektrowni, jak i przez wykonawców obcych. Zwykle remont chłodnic generatora, układu regulacji i systemu olejowego wykonują brygady własne elektrowni, a remont aparatu kierowniczego, naprawy uszkodzeń kawitacyjnych, montaż i demontaż zespołu wirującego turbiny wykonują zakłady remontowe.

Organizacja pracy służb remontowych energetyki oparta jest na specjalistycznym podziale pracy wykonywanej przez brygady remontowe, np. brygady turbinowe, brygady remontu urządzeń pomocniczych, brygady remontu armatury, brygady remontu automatyki i aparatury kontrolno-pomiarowej. Podział ten ma zastosowanie zarówno w elektrowniach wodnych, jak i zakładach remontowych.

Potencjał remontowy elektrowni /liczba pracowników/ powinien być stały i pokrywać do 60% szczytowych potrzeb remontowych. Pozwala to racjonalnie wykorzystywać siłę roboczą w ciągu roku. Brakująca siła robocza powinna być zagwarantowana przez innych wykonawców remontu, w tym zakłady remontowe.

2.6.1. Organizacja prac remontowych

Na cykl remontowy składają się fazy: przygotowania do remontu, wykonania remontu i ruchu próbnego turbozespołu.

Przygotowanie do remontu. Obejmuje następujące prace:

- a/ ustalenie zakresu prac remontowych na podstawie obowiązujących normatywów oraz analizy danych:
- sprawozdań z ostatniego remontu głównego i wykonanych po nim remontów średnich turbiny, które powinny zawierać również ocenę stanu technicznego turbiny, jak i zalecenia do następnego remontu,
 - zapisów parametrów ruchu oraz uproszczonych pomiarów turbiny,
 - wyników badań diagnostycznych oraz rozpoznanego aktualnie stanu technicznego turbiny,
 - danych o liczbie godzin ruchu i postojów oraz o przyczynach postojów turbiny od ostatniego remontu głównego,
 - wykazu usterek zauważonych podczas pracy turbiny,
 - protokołów z badań zakłóceń w pracy turbiny,
 - dokumentów wymaganych przez Urząd Dozoru Technicznego oraz inne instytucje nadzorujące eksploatację turbin,
 - zaleceń i wniosków z dziedziny BiHP.

Ostateczny zakres remontu uściśla się na podstawie oględzin i pomiarów wykonanych w czasie prac demontażowych przy remoncie turbiny.

- b/ przygotowanie dokumentacji remontowej, w skład której wchodzi:
- zlecenia robocze dla brygad remontowych obejmujące pełny zakres remontu,
 - harmonogramy zbiorcze i odcinkowe remontu,
 - kosztorys remontu,
 - dziennik prac remontowych,
 - projekt organizacji stanowisk pracy,
 - projekt zagospodarowania powierzchni /pól odkładowych/ przy remoncie,
 - dokumentacja technologiczna dla specjalistycznych prac remontowych,
 - program prób i badań turbiny podczas odstawiania do remontu,
 - bilans pokrycia pracochłonności remontu turbiny.
- c/ przygotowanie środków rzeczowych do wykonania remontu. Należy zapewnić niezbędne do remontu i zgodne z harmonogramem prac dostawy części zamiennych, materiałów i sprzętu oraz specjalnych urządzeń i oprzyrządowania do mechanizacji prac re-

montowych i umożliwić wykonawcy remontu korzystanie z urządzeń transportu wewnątrzzakładowego i zaplecza warsztatowego. Należy zapewnić wykonawcy remontu dostawę niezbędnych do remontu ilości energii elektrycznej, sprężonego powietrza oraz gazów technicznych.

Tylko wszechstronne i staranne przygotowanie remontu daje gwarancję przeprowadzenia remontu w możliwie najkrótszym czasie oraz pozwala liczyć na wysoką jakość prac remontowych.

Przebieg remontu. Przyjmowanie urządzeń z ruchu do remontu następuje komisyjnie. Komisję powołuje dyrektor lub główny inżynier elektrowni wodnej. Podstawę pracy komisji powinny stanowić dokumenty:

- charakterystyka pracy turbiny wodnej,
- zakres remontu,
- harmonogramy remontu,
- schemat organizacji remontu,
- wykaz nie zabezpieczonych części zamiennych i materiałów,
- rysunki pól odkładczych,
- wykaz usterek ruchowych wraz ze zleceniami,
- protokoły pomiarów turbiny przed remontem, zawierające podstawowe pomiary ruchowe i wskaźniki techniczno-ekonomiczne.

W skład komisji wchodzi:

- główny inżynier lub kierownik wydziału remontów względnie kierownik elektrowni wodnej jako przewodniczący,
- koordynatorzy remontu,
- przedstawiciele przygotowania remontów,
- przedstawiciele wykonawców remontu, w tym przedstawiciele wykonawców obcych,
- przedstawiciele ruchu i kontroli eksploatacji elektrowni,
- inspektor BiHP i ppoż.

Brygady remontowe mogą być dopuszczone do pracy po całkowitym odstawieniu turbiny wodnej z ruchu i skutecznym jej zabezpieczeniu przed uruchomieniem oraz po otrzymaniu pisemnego lub ustnego polecenia prac i po upewnieniu się, czy zostały podjęte środki zapewniające bezpieczną pracę. Zagadnienie to reguluje instrukcja organizacji bezpiecznej pracy w energetyce [6].

Realizacja prac remontowych w elektrowniach wodnych odbywa się głównie w systemie mieszanym, tj. prace podejmują brygady

własne elektrowni i brygady zakładu remontowego energetyki.

Bardzo ważne jest uczestnictwo poducentów urządzeń w remontach głównych turbin wodnych. Uczestnictwo to dzięki stałemu gromadzeniu doświadczeń z napraw turbin w różnych elektrowniach wodnych w konfrontacji z technicznym doświadczeniem uzyskanym w produkcji turbin wodnych pozwala na wprowadzenie ulepszonych metod napraw. Poza tym udział personelu producenta w remontach głównych oraz próbach eksploatacyjnych przyczynia się do postępu w konstrukcji i technologii budowy turbin wodnych wysokiej jakości.

Remont turbiny wodnej prowadzi się w następującej kolejności:

- brygada elektrowni wodnej /eksploatacja/ sprawdza działanie poszczególnych mechanizmów oraz turbiny jako całości w różnych stanach pracy oraz sporządza wykaz usterek w pracy turbiny,
- brygada zakładów remontowych energetyki /wykonawcy/ ustala dane wyjściowe o połączeniu części oraz zespołów względem siebie przy pomocy znakowania, pomiarów i reperów /punktów stałych/. Mierzy wartości luzów w uszczelnieniach i łożyskach. Po wykonaniu ww. sprawdzeń i ustaleń przystępuje się do demontażu mechanizmów, naprawy, montażu oraz instalowania i centrowania mechanizmów turbiny.

Na podstawie oględzin i pomiarów turbiny w czasie prac demontażowych należy uściślić ostateczny zakres remontu i harmonogramy prac. Protokół urealnienia zakresu prac sporządzany jest komisyjnie z udziałem specjalisty przygotowania remontów oraz starszego mistrza i brygadzysty /ewentualnie kierownika robót/ ze strony wykonawcy.

Celem zapewnienia bieżącej kontroli jakości wykonawstwa remontów należy systematycznie przeprowadzać odcinkowe odbiory robót zanikających oraz odcinkowe odbiory poszczególnych węzłów lub urządzeń. Odcinkowe odbiory dokonuje się trójstopniowo:

- odbiór przez brygadzystę,
- odbiór przez mistrza,
- odbiór specjalistyczny /przygotowany wspólnie z brygadzistami i mistrzem, a w systemie zleconym - razem z wykonawcami/ zakończony protokołem. Pozytywne protokoły odbiorów odcinkowych stanowią jeden z warunków dopuszczenia turbiny do ruchu.

Po zakończeniu odbiorów odcinkowych i zamknięciu poleceń na pracę przeprowadza się próby działania zabezpieczeń i blokad zgodnie z instrukcją obowiązującą w danej elektrowni wodnej. Przekazywanie urządzeń do ruchu po remoncie głównym i średnim dokonuje się komisyjnie w składzie osobowym takim, jak przy przyjmowaniu turbiny do remontu lecz w dwóch etapach:

- przyjęcie poszczególnych urządzeń do ruchu próbnego,
- przyjęcie turbiny z remontu do ruchu właściwego.

Podstawą protokółarnego odbioru remontu turbiny są:

- protokół urealnienia zakresu robót,
- wykaz usterek ruchowych turbiny wraz z zaleceniami,
- protokoły odcinkowych odbiorów robót,
- protokoły pomiarów turbiny przed remontem,
- protokoły pomiarów urządzeń elektrycznych.

Komisja po przeanalizowaniu dokumentów odbiorowych i nie stwierdzeniu usterek limitujących dokonuje oględzin obiektów będących przedmiotem odbioru i po pozytywnej ocenie stanu technicznego, BiHP i ppoż. proponuje w formie protokołu dopuszczenie turbiny do ruchu próbnego. Protokół zatwierdza dyrektor lub główny inżynier, co jest równoznaczne z przekazaniem obiektu do ruchu próbnego.

Ruch próbny po remoncie. Prowadzi personel ruchowy elektrowni wodnej pod nadzorem wykonawcy remontu, który ponosi odpowiedzialność za wszystkie uszkodzenia urządzeń wynikłe z wadliwie wykonanych prac remontowych. Ruch próbny trwa 72 godziny. Pozytywny przebieg ruchu próbnego nie wlicza się do czasu postoju turbin w remoncie.

2.7. Środki do remontu turbiny wodnej i personel remontowy

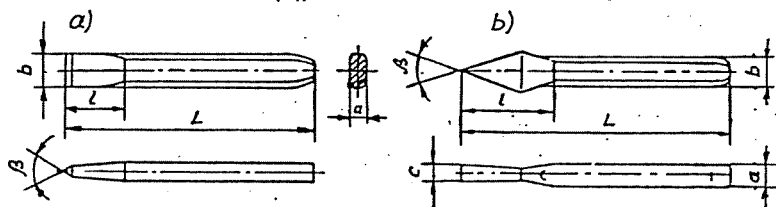
2.7.1. Do środków materiałowych remontu turbiny wodnej należą:

- materiały zasadnicze i pomocnicze,
- narzędzia i urządzenia,
- wyposażenie produkcyjne i dźwigowo-transportowe.

Materiały zasadnicze i pomocnicze. Elektrody do napawania uszkodzeń kawitacyjnych produkcji Huty Baildon [23]: ER346 ϕ 3,25 mm,

EB146 ϕ 3,25 mm i ϕ 4 mm, ES18-8B ϕ 3,25 mm oraz EN10-10B ϕ 3,25 mm i ϕ 4 mm. Z innych materiałów stosuje się: tlen, acetylen, propan-butan, nafta, benzyna ekstrakcyjna, prenoclean E, klingeryt, preszpan, blacha mosiężna o gr.0,1; 0,2 i 0,3 mm, blacha miedziana o gr.2 mm, deski o gr.40 mm, kantówka 100x200 mm, czyściwo ze szmat, sznur łojowy, łój techniczny, olej maszynowy, smar Tovotte'a, filc techniczny, żarówki 24 V.

Narzędzia ogólne. Młotki ślusarskie 0,6 kg, młoty kowalskie 5 kg, 12 kg, przecinaki /rys.1a/ i wycinaki /rys.1b/, szczypce płaskie,



Rys.1. Narzędzia do ścinania i wycinania: a/ przecinak ślusarski, b/ wycinak ślusarski: a-grubość narzędzia, b-szerokość narzędzia, c-grubość ostrza, l-długość ostrza, L-długość narzędzia, β -kąt ostrza

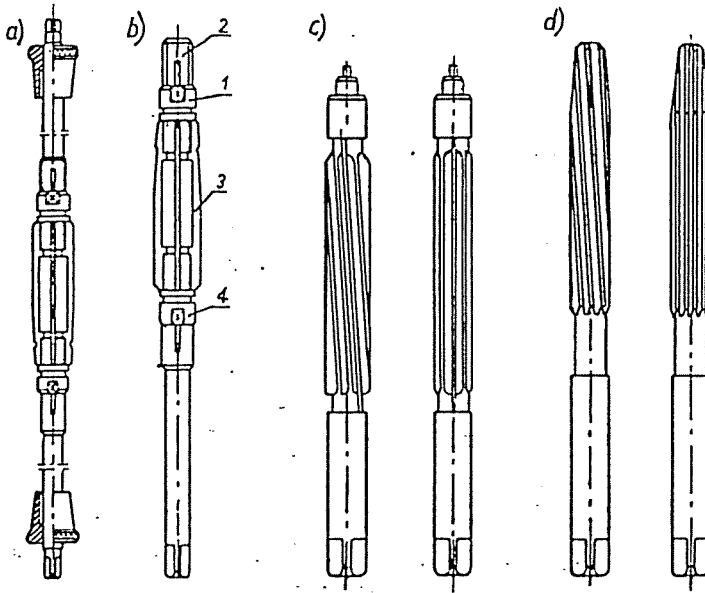
piłki ręczne do metali, obciążki, nożyce do blachy, klucze do nakrętek oczkowe i płaskie, narzynki do gwintowania, pokrętła uniwersalne, rozwiertaki /rys.2/, numeratory, uchwyty wiertarskie, szczotki stalowe do czyszczenia, imadła ręczne, pilniki płaskie, okrągłe i kształtowe /rys.3/.

Narzędzia elektryczne i pneumatyczne. Wiertarki elektryczne z uchwytem pistoletowym i dwuręczne, szlifierki elektryczne kątowe WSE 1800N, WSE 2300N, WSE 602M, szlifierki pneumatyczne kątowe USG 180 i USG 230, szlifierki pneumatyczne trzpieniowe, polerki pneumatyczne, dłuta pneumatyczne, wycinaki pneumatyczne, klucze udarowe pneumatyczne SC-5, PU-30 i PU-50.

Narzędzia elektryczne /zasilane prądem przemiennym 50 Hz, jednofazowym, o napięciu 220 V/ są wykonywane w II klasie ochrony /z podwójną izolacją/ i nie wymagają uziemienia /PN-74/E-06251/. Poziom szumów jest ograniczony do 75 dB. Sprawność narzędzi elektrycznych wynosi $\eta=0,4-0,6$, rys.4 i 5 oraz tabl.4 i 5.

Zakłady CELMA produkują również zestawy wieloczynnościowe oparte na ręcznej wiertarce PRCr 10/6. Wymienne nasadki umożli-

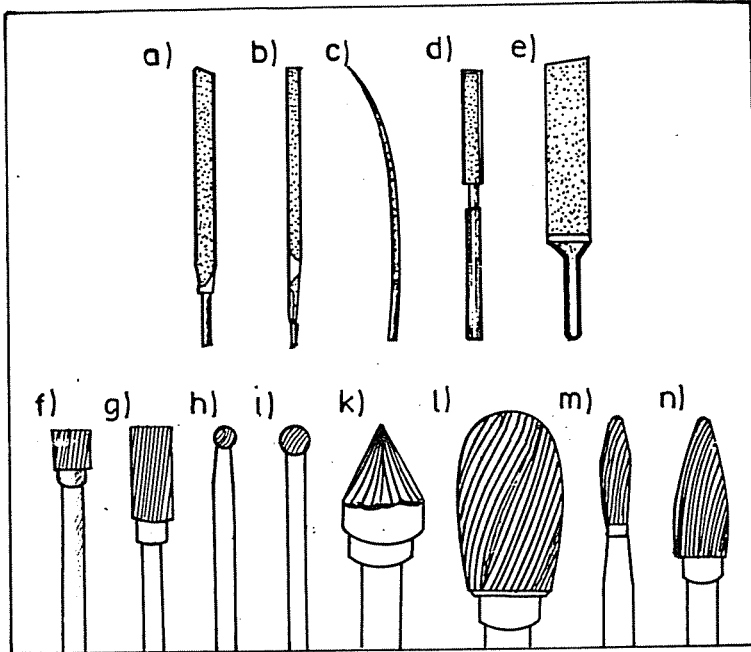
wiają zamianę wiertarki na pilarkę o ruchu posuwisto-zwrotnym /nasadka PRXz 50B/ lub szlifierkę tarczową kątową /nasadka PRXp 115B/.



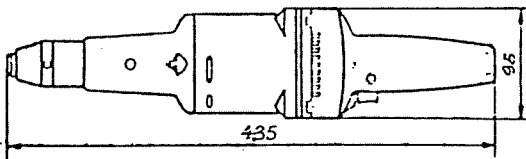
Rys.2. Rozwiertaki ręczne do otworów walcowych wg PN-74/M-58907: a/ trzpieniowy nastawny z tulejami stożkowymi /NRZh/ produkowany w zakresie średnic $9+67$ mm, b/ 1-nakrętka dolna, 2-trzpień, 3-płytki skrawające, 4-nakrętka górna: trzpieniowy nastawny /NRZe/ - zakres średnic $9+67$ mm, c/ trzpieniowy rozprężny /NRZf/ o zębach skośnych i prostych, zakres średnic $6+50$ mm, d/ trzpieniowy stały /NRTh/ o zębach skośnych i prostych, zakres średnic $1,5+71$ mm

Narzędzia pneumatyczne napędzane sprężonym powietrzem o ciśnieniu ok. $0,6$ MPa są odporne na przeciążenia i dlatego szeroko rozpowszechnione. Sprawność narzędzi pneumatycznych wynosi $\eta = 0,07-0,11$, tabl.6 i 7, rys.6.

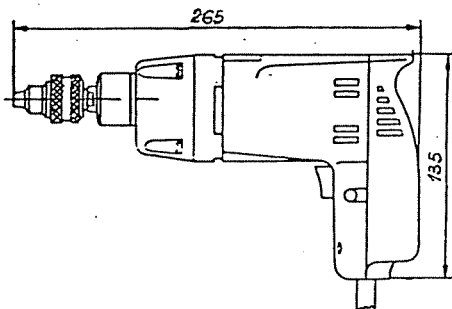
Do pracy szlifierkami stosuje się ściernice trzpieniowe wg PN-71/M-59101 o średnicach w granicach $3-20$ mm, rys.7. Do pole rowania powierzchni używa się tarcz filcowych lub zszytych z wielu warstw miękkiej tkaniny oraz pasty ściernie typu GOI, w których materiałem ściernym jest proszek tlenku chromu.



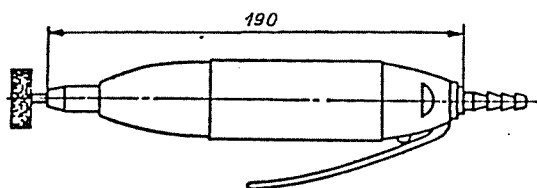
Rys.3. Pilniki maszynowe f.BlaX: a/+c/ do pilnikarek o ruchu posuwisto-zwrotnym, f/+n/ do pilnikarek o ruchu obrotowym, d/ pilnik ścierny z proszkiem diamentowym, e/ pilnik ścierny o wiązaniu ceramicznym



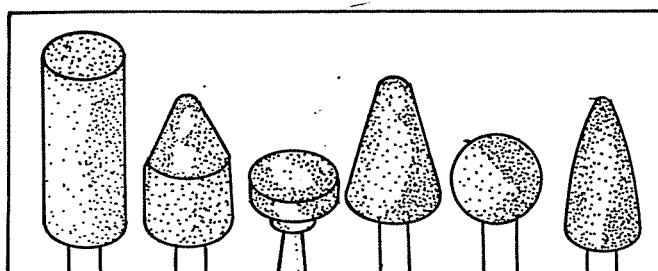
Rys.4. Szlifierka ręczna z napędem elektrycznym typu PRAa40II



Rys.5. Wiertarka ręczna z napędem elektrycznym typu PRCa6II



Rys.6. Szlifierka ręczna z napędem pneumatycznym typu SA-25



Rys.7. Ściernice trzpieniowe do pracy przy prędkości obrotowej do 30000 obr/min

Tabela 4. Dane techniczno-eksploatacyjne ręcznych wiertarek elektrycznych produkcji krajowej

Typ	Max średnica wiercenia w stali mm	Prędkość obrotowa pod obciążeniem znamionowym obr/min	Pobór mocy W	Masa kg
PRCa6	6	1100	280	1,4
PRCb10	10	700	330	3,0
PRCa16	16	500	450	3,9
PRCr10/6	6-10	700	270	1,8
PRCa13 kątowna	13	350	380	3,6

Tabela 5. Dane techniczno-eksploatacyjne ręcznych szlifierek elektrycznych produkcji krajowej

Typ	Max średnica ściernic mm	Prędkość obrotowa pod obciążeniem znominalnym obr/min	Pobór mocy W	Masa kg
PRAa40II	40	12000	380	3,1
PRAe150	150	2800	600	4,5
PRAw130	130	2200	1600	4,95

Tabela 6. Dane techniczno-eksploatacyjne ręcznych wiertarek pneumatycznych

Typ	Prędkość obrotowa obr/min	Max średnica wiercenia mm	Zużycie sprężonego powietrza m ³ /min	Długość mm	Masa kg
WA-3	12000	3	0,36	175	0,66
WA-6	3000	6	0,6	175	0,95
WK-6	3000	6	0,6	275	1,6
WAP-6	3000	6	0,6	165	1,0
WZ-15	1400	15	0,7	270	3,75

Tabela 7. Dane techniczno-eksploatacyjne ręcznych szlifierek pneumatycznych

Typ	Prędkość obrotowa obr/min	Max średnica ściernicy mm	Zużycie sprężonego powietrza m ³ /min	Długość mm	Masa kg
SA-25	14000	25	0,3	190	0,35
SA-40	8000	40	0,4	310	0,95
SAK-75	4500	75	0,8	320	2,30

Narzędzia pomiarowe i przyrządy miernicze. Mikrometry do ϕ 300 mm, mikromierze do ϕ 500 mm, głębokościomierze do 500 mm, średnicówki z czujnikami zegarowymi do ϕ 900 mm, poziomnice ramkowe magnetyczne i do wałków, sprawdziany do gwintów, macki zewnętrzne i wewnętrzne, liniały wzorcowe, płytki dystansowe, czujniki zegarowe z podstawką, miary taśmowe, kątowniki wzorcowe, suwmiarki do L=1500 mm.

Urządzenia montażowo-produkcyjne. Spawarki elektryczne prądu stałego 315 A, komplet palników spawalniczych, uchwyty do elektrod, zaciski spawalnicze, maski spawalnicze, okulary ochronne spawalnicze, osłony twarzy z polimetakrylanu metylu, ubrania pyłoodporne dla szlifierzy, kominarki, ubrania hutnicze dla spawaczy, rękawice skórzane, sprężarka powietrza WE-50, zbiornik wyrównawczy sprężonego powietrza, węże gumowe do sprężonego powietrza ϕ 22 mm, węże spawalnicze, przewody do spawania elektrycznego, palnik do grzania propanem, przewody i reduktor do propanu, butle z propanem, tlenem i acetylenem, suszarka do elektrod, termosy do elektrod, transformator separacyjny 220-24 V, kablówki, reduktory do tlenu i acetyleny, płyty miernicze.

Urządzenia i narzędzia specjalne. Klucze kute oczkowe pod młot, wytaczadło do tulei łopat kierownicy wraz z kolumną, oprzyrządowanie specjalne do demontażu i montażu łopat kierownicy, podnośniki hydrauliczne o udźwigu 200 kN, 500 kN i 1000 kN, oprzyrządowanie specjalne do demontażu łożysk kłapy motylowej, przyrząd do obróbki łopat wirnika maszyny odwracalnej i turbiny klasycznej, przyrząd do obróbki łopat kierownicy maszyn odwracalnych, szablony do obróbki łopat wirników turbin wodnych.

Urządzenia i środki udźwigu. Wciągi łańcuchowe o udźwigu 15 kN i 30 kN, wciągi liniowe, wciągarki ślimakowe o udźwigu 15 kN i 30 kN, wciągarki elektryczne o udźwigu 30 kN, trawersa do demontażu wirnika generatora turbiny wodnej, liny konopne z pętłami splecionymi, liny stalowe z uchami, zawiesia specjalne z regulowaną długością, śruby z uchem, zaciski jednostronne i dwustronne do lin, szakle, haki.

2.7.2. Personel remontowy

Przygotowaniem oraz samym remontem turbozespołu kieruje kierownik działu maszynowego. W elektrowniach wodnych wyposażonych w duże turbozespoły w grupie kierownika maszynowego powinien być mistrz lub technik remontowy. Często do technicznego nadzoru nad przebiegiem remontu głównego oraz przeprowadzenia robót regulacyjnych przydziela się przedstawiciela producenta turbin.

Prace remontowe przy turbinach wodnych obejmują różne specjalności, odpowiednio do których organizuje się brygady robocze: turbinową, regulatorową, rurociągową oraz udźwigową. Oprócz tych podstawowych brygad w remoncie biorą udział: spawacze elektryczni i gazowi, cieśle do budowy rusztowań i pomostów, elektromonterzy do przyłączania i odłączania przewodów elektrycznych mechanizmów turbozespołów, prowizorycznego oświetlenia oraz narzędzi elektrycznych, obsługa sprężarek, która zapewnia dostawę sprężonego powietrza do narzędzi pneumatycznych, kowale, stała obsługa warsztatu, jak tokarze i fręzerzy zatrudnieni w warsztacie naprawczym elektrowni wodnej.

2.8. Przygotowanie stanowisk remontowych

Przed przystąpieniem do naprawy turbiny należy zawczasu przygotować wyposażenie poszczególnych stanowisk roboczych: warsztaty ślusarskie, stoły ślusarskie, imadła, skrzynie, stojaki, drabiny i pomosty. Należy zapewnić doprowadzenie prądu elektrycznego dla siły i oświetlenia /zasilanie spawarek, sprężarki, narzędzi elektrycznych oraz oświetlenia kablówkami o napięciu 24 V/ oraz sprężonego powietrza o ciśnieniu 0,6 MPa do napędu narzędzi pneumatycznych.

Bezpośrednio przed przystąpieniem do prac naprawczych rejon robót należy oddzielić za pomocą odpowiednich przegród od czynnych turbozespołów.

W bezpośrednim sąsiedztwie stanowiska roboczego, na poziomie wirnika turbiny należy zbudować prowizoryczny skład narzędzi i urządzeń niezbędnych do prowadzenia napraw uszkodzeń kawita-

cyjnych /szlifierki pneumatyczne lub elektryczne kątowe i proste, wiertarki pneumatyczne lub elektryczne kątowe i proste, młotki pneumatyczne, dłuta pneumatyczne, ściernice tarczowe do cięcia i szlifowania, frezy, dłuta, przecinaki, wycinaki, młotki spawalnicze, szczotki stalowe, tarcze listkowe, węże gumowe do sprężonego powietrza, palniki, węże i reduktory do tlenu i acetyleny, przewody do spawania elektrycznego z uchwytem i zaciskiem spawalniczym, maski ochronne spawalnicze, okulary ochronne, osłony z polimetakrylanu metylu, kominiarki, kombinezony pyłoszczelne, ubrania hutnicze dla spawaczy/.

Na poziomie wirnika turbiny rozstawia się spawarki oraz zbiornik wyrównawczy sprężonego powietrza, od którego węzami gumowymi doprowadza się sprężone powietrze na stanowiska robocze.

Przed rozpoczęciem robót sprawdza się, czy turbina i rurociąg dopływowy są odwodnione oraz czy odwodnienia spirali są w pełni drożne. Turbina powinna mieć podwójne zabezpieczenie przed zalaniem wodą /zastawki remontowe oraz zasuwa na dolocie/. Następnie kierownik remontu sprawdza stan rusztowań oraz pomostu pod wirnikiem turbiny, właściwe oświetlenie stanowisk roboczych i wyposażenie w niezbędny sprzęt ppoż. oraz sprzęt ochrony osobistej. Miejsce naprawy musi odpowiadać wymaganiom przepisów BiHP i ppoż. podanych w RTE-114/DT-74 [6] .

Wykonawcy naprawy mają obowiązek skontrolowania stanu technicznego sprzętu spawalniczego, urządzeń do podgrzewania, narzędzi pneumatycznych i elektrycznych, jak i narzędzi ślusarskich. Tylko spełnienie wszystkich tych wymagań pozwala na przystąpienie do wykonywania naprawy.

Przed rozpoczęciem robót kierownik remontu przedstawia personelowi remontowemu cele i zadania naprawy, zaznajamia brygadę z harmonogramem naprawy, z technicznymi wymaganiami, przydziałem pracowników do poszczególnych odcinków robót, kolejnością wykonywania, przyjmowania robót oraz odbiorem ich jakości i systemem płac. Oprócz tego wskazuje rozmieszczenie miejscowego sprzętu ppoż. oraz omawia sposoby jego użycia.

3. Weryfikacja uszkodzeń kawitacyjnych

3.1. Uszkodzenia kawitacyjne turbin wodnych

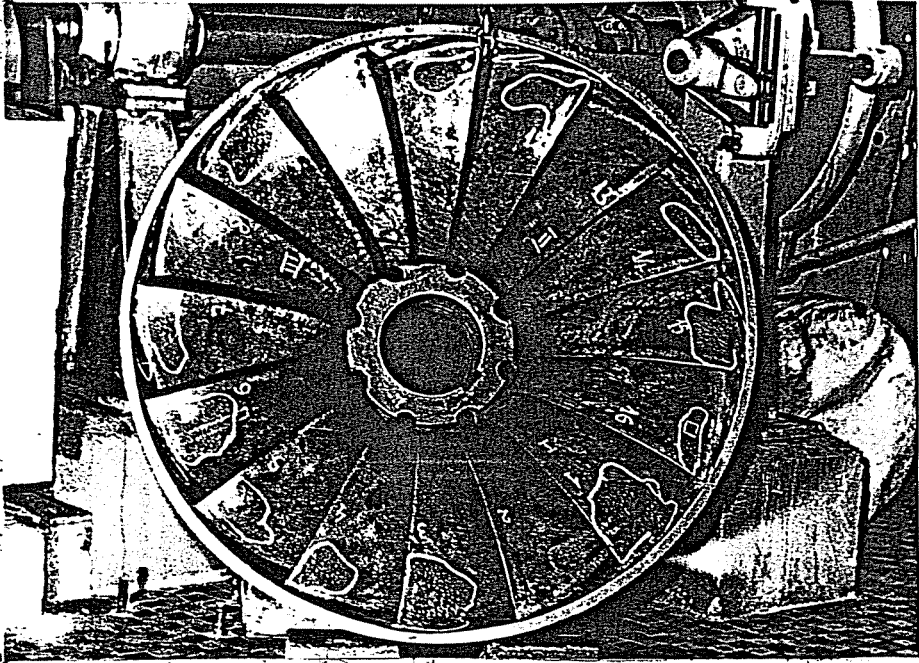
Uszkodzeniom wskutek działania kawitacji oraz rumowiska zawartego w wodzie ulegają elementy turbin tworzące kanały przepływowe. Kawitacja jest spowodowana zmianą ciśnienia w wodzie i polega na powstawaniu, wzroście i zanikaniu pęcherzy zawierających mieszaninę parowo-gazową. Ze ścian pęcherzy powietrza transportowanych w strudze wody, po wejściu tych pęcherzy w strefę obniżonego ciśnienia, odparowuje woda i pęcherze te bardzo szybko zwiększają swoją objętość. Gdy pęcherz taki wejdzie następnie w obszar strugi o podwyższonym ciśnieniu następuje gwałtowne zmniejszenie objętości pęcherza /implozja/. W utworzoną w ten sposób pustkę wdzierają się cząstki wody, które zderzając się wytwarzają bardzo silne miejscowe uderzenia, podobne do wybuchów.

Jeżeli proces ten przebiega w pobliżu powierzchni ograniczających przepływ wody w turbinie, to uderzenia te działając w sposób czysto mechaniczny odłamują krawędzie powierzchniowych, otwartych, płytkich por w metalu, co wyraża się kolejno zmatowieniem, zwiększeniem chropowatości i gębczastością powierzchni. Uszkodzona powierzchnia staje się wzbudnikiem kawitacji, zwiększa jej natężenie i zwiększa erozję kawitacyjną metalu. W ten sposób nadmierny spadek ciśnienia tworzy miejscowe ogniska intensywnej kawitacji, która niszczy elementy turbin wodnych przez ubytki /wyżeranie/ metalu.

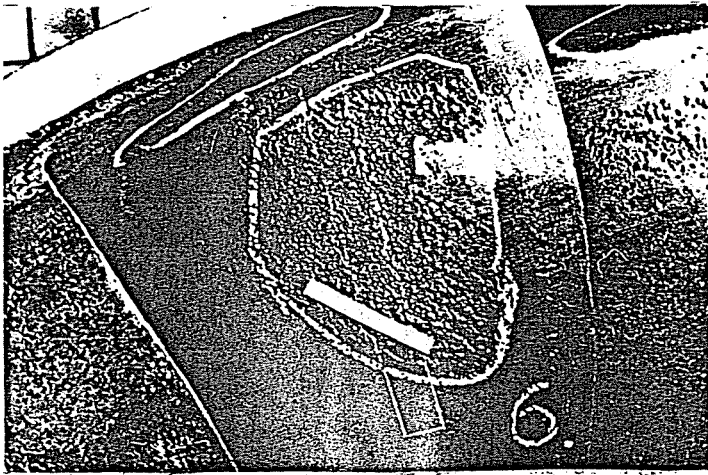
Kawitacja powstaje w przepływającej wodzie podczas spadku ciśnienia statycznego, spowodowanego warunkami przepływu lub warunkami zewnętrznymi. Zwykle pojawia się w przewężeniach kanałów przepływowych oraz w miejscach zakrzywienia linii kinematycznych i oderwań strugi wody od opływanej powierzchni elementu turbiny.

Ze względu na kształt uszkodzeń kawitacyjnych rozróżnia się kawitację miejscową, szczelinową i jamową.

W turbinach Francisza kawitacja miejscowa przeważnie niszczy powierzchnie łopat kierownicy w pobliżu krawędzi wylotowych, powierzchnie dolnego pierścienia kierownicy w pobliżu krawędzi wylotowych łopat kierownicy, niepracujące powierzchnie łopat wirnika, powierzchnie dolnego wieńca wirnika znajdujące się w sąsiedztwie



Rys. 8. Widok z dołu wirnika turbiny Francisa z obrysowanymi obszarami zniszczeń kawitacyjnych na niepracujących powierzchniach łopatek



Rys. 9. Niepracująca powierzchnia łopaty nr 6 wirnika turbiny Francisa z rys. 8. Przy zbliżeniu widoczny jest także obszar zniszczeń kawitacyjnych na wieńcu dolnym wirnika w sektorze pomiędzy łopatkami nr 5 i 6

krawędzi wlotowych łopat wirnika oraz elementy wlotowej części rury ssącej /rys. 8 i 9 /.

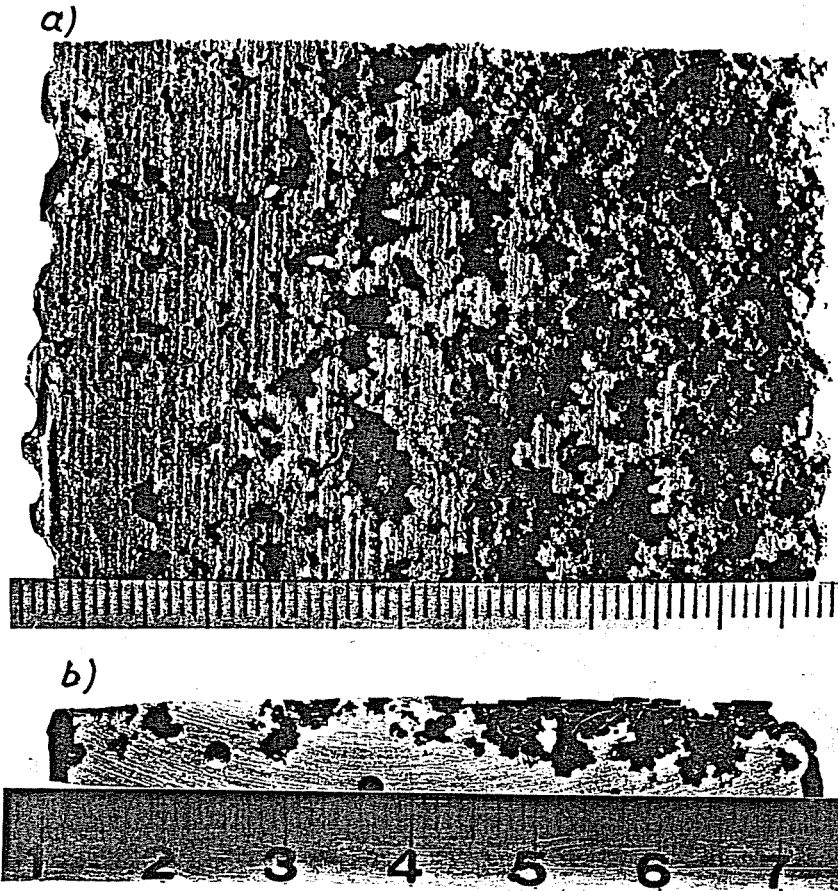
W turbinach Kaplana miejscowa erozja kawitacyjna występuje na powierzchniach łopat kierownicy w pobliżu krawędzi wylotowych, powierzchniach dolnego pierścienia kierownicy w pobliżu krawędzi wylotowych łopat kierownicy, niepracujących powierzchniach łopat wirnika oraz powierzchniach piasty wirnika i komory wirnika znajdujących się poniżej osi obrotu łopat wirnika.

Kawitacja szczelinowa występuje w szczelinach, w których prędkość przepływu wody jest bardzo duża. Występująca tutaj erozja kawitacyjna niszczy metal nadając powierzchni elementów turbin wygląd gąbczasty.

W kierownicach turbin wodnych korozja szczelinowa niszczy czołowe powierzchnie łopat kierownicy i współpracujące z nimi powierzchnie dolnego i górnego pierścienia oraz powierzchnie uszczelnień gumowych łopat kierownicy wówczas, gdy kierownica jest zamknięta. W turbinach Francisa kawitacja szczelinowa niszczy uszczelnienia labiryntowe dolnego wieńca wirnika. W turbinach Kaplana kawitacja szczelinowa niszczy krawędzie zewnętrzne łopat wirnika i współpracujące z nimi powierzchnie komory wirnika w pasie odpowiadającym robocznemu położeniu łopat wirnika /rys. 10/. Kawitacja szczelinowa niszczy również grzybki jałowych upustów oraz zaworów tarczowych, przy czym proces niszczenia przebiega głównie wtedy, gdy zawory są zamknięte i w miejscach, w których woda przesącza się przez nieszczelności. Kawitacja szczelinowa jest szczególnie intensywna w turbinach na wysokie spadki, w których strugi wody mają duże prędkości, a poza tym niosą z sobą rumowisko skalne.

Kawitacja jamowa powstaje w środkowej strefie rury ssącej turbiny. Przy określonych warunkach w strefie tej tworzy się wir wody obracający się z dużą prędkością dookoła osi rury. Kawitacji jamowej towarzyszą stuki i wstrząsy wsporników turbozespołu, wywołujące silne jego drgania. W szeregu przypadków unika się nadmiernych drgań przez wpuszczenie powietrza atmosferycznego do przestrzeni pod wirnikiem, w której tworzy się wir. W turbinach Francisa najlepsze wyniki osiąga się przez wpuszczenie powietrza przez otwór znajdujący się w wale turbozespołu.

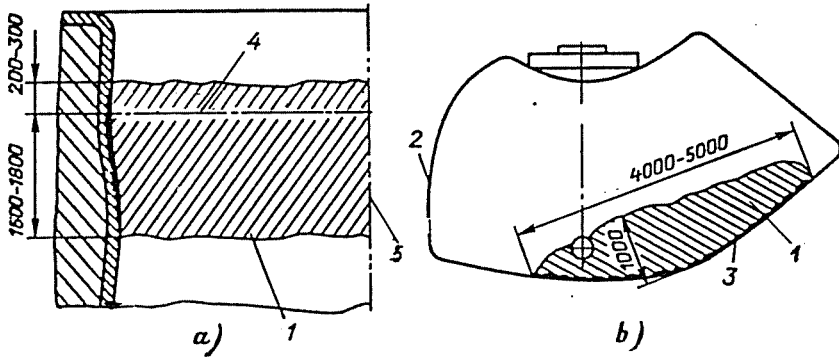
Jamy kawitacyjne zatrzymują strugę wody, stwarzają dodatkowe opory przy jej przepływie, powiększają drgania wirnika, co w efekcie zmniejsza sprawność i moc turbiny.



Rys. 10. Zniszczenia spowodowane kawitacją szczelinową w komorze wirnika turbiny Kaplana Elektrowni Wodnej Koronowo: a/ widok zewnętrzny, b/ przekrój poprzeczny

Woda przepływająca przez turbinę niesie z sobą zawsze pewną ilość ciał obcych, zwanych rumowiskiem. Rumowisko w sposób mechaniczny ściera powierzchnię elementów turbiny tworzących kanał przepływowy, zwłaszcza w miejscach uszkodzonych przez erozję kawitacyjną. Intensywność zużycia jest tym większa im większa jest zawartość rumowiska w wodzie, im rumowisko jest twardsze /piasek, bazalt, kwarc/ oraz im większe są ziarna i prędkość wody rumowisko to unoszącej /zużycie jest proporcjonalne do $3/2$ kwadratu zawartości rumowiska w wodzie i wysokości spadku wody/.

Powierzchnie zużyte na skutek działania rumowiska pokryte są zazwyczaj wgniecieniami i bruzdami, przebiegającymi równolegle do



Rys. 11 . Schemat uszkodzeń kavitacyjnych turbiny Kaplana w Ka-chowskiej Elektrowni Wodnej w ZSRR [16] : a/ na ścianie komory wirnika, b/ na łopacie wirnika: 1-strefa erozji kavitacyjnej, 2-krawędź wlotowa łopaty wirnika, 3-krawędź zewnętrzna łopaty wirnika, 4-oś obrotu łopaty wirnika, 5-oś komory wirnika

kierunku przepływającej wody. Bruzdy te mogą się przecinać wskutek zmiany tego kierunku przy różnych stanach pracy turbiny. O ile zniszczenia wywołane działaniem erozji kavitacyjnej posiadają gąbczastą powierzchnię, spowodowaną odrywaniem cząstek metalu, to zniszczenia wywołane działaniem rumowiska charakteryzują się wyżłobionymi bruzdami o wygładzonej, utwardzonej powierzchni. Bruzdy te są wynikiem nacisku strugi wody na powierzchnię oraz ścierania cząstek metalu przez rumowisko.

Przy silnych uderzeniach rumowiska o ścianę komory wirnika /wirniki o dużych prędkościach obwodowych/, spawaną ze stosunkowo cienkich /ok. 12 mm/ blach stalowych, mogą powstać w niej pęknięcia gwiaździste, zwłaszcza w miejscach koncentracji pozostających naprężeń spawalniczych i obszarach uszkodzeń kavitacyjnych.

Erozja kavitacyjna i ścieranie przez rumowisko przyspieszają zniszczenie metalu. Polega to na tym, że powierzchnia gąbczasta uszkodzeń kavitacyjnych łatwiej poddaje się ścierającemu działaniu rumowiska i odwrotnie wgniecenia i bruzdy spowodowane przez rumowisko sprzyjają powstawaniu ognisk miejscowej kavitacji.

W turbinach wodnych ścieraniu przez rumowisko ulegają przede wszystkim: tarcza i powierzchnie zamykające zaworu, części wlotowe łopat kierownicy i ich łożyska, pokrywa turbiny oraz dolny pierścień kierownicy, części wlotowe łopat wirnika turbiny, a w turbinach Francisa także pierścienie uszczelnień labiryntowych.

3.2. Pomiary uszkodzeń kawitacyjnych

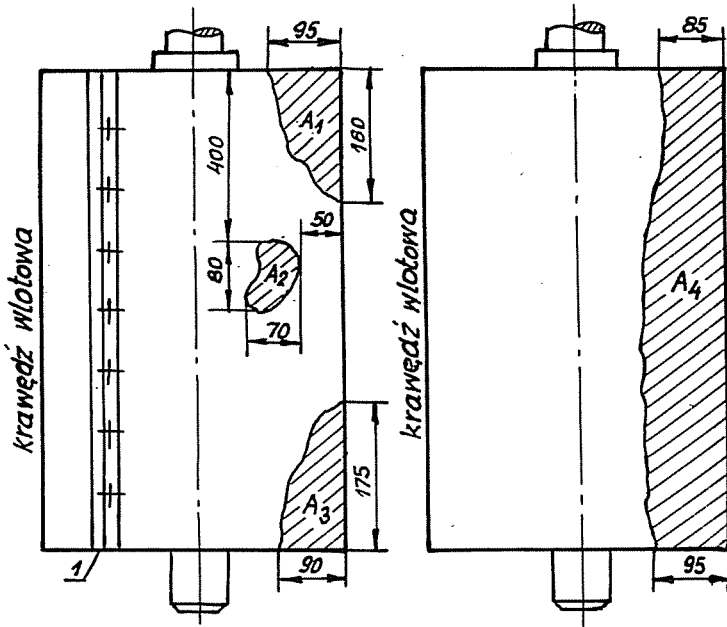
Przed przystąpieniem do naprawy uszkodzeń kawitacyjnych powierzchni kanałów przepływowych turbiny wodnej należy przede wszystkim zaznajomić się z danymi ustalonymi podczas montażu turbiny lub podczas poprzednich oględzin, kontroli i napraw. Daje to możliwość określenia wzajemnego położenia elementów turbiny, rozwoju uszkodzeń kawitacyjnych oraz robót dodatkowych, które należy wykonać poza robotami zaplanowanymi.

Turbinę po pierwszym roku eksploatacji poddaje się pełnym oględzinom, podczas których spirala i rura ssąca powinny być odwodnione. O ile rura ssąca pracuje normalnie to następne jej oględziny w stanie odwodnionym należy przeprowadzać nie rzadziej niż raz na trzy lata. Jeżeli poziom dolnej wody nie zezwala na przeprowadzenie oględzin wirnika bez odwodnienia rury ssącej, to rurę tę należy bezwzględnie odwadniać przy każdej naprawie głównej.

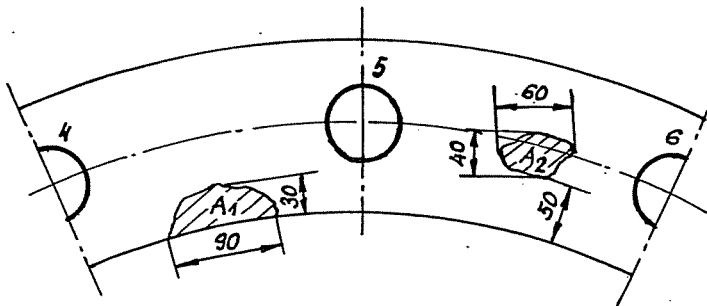
Przy oględzinach kierownicy turbiny ustala się uszkodzenia kawitacyjne i uszkodzenia wywołane działaniem rumowiska na górnym pierścieniu kierownicy lub pokrywie turbiny, dolnym pierścieniu kierownicy, łopatach kierownicy i gumowych uszczelnieniach łopat kierownicy. W protokóle oględzin zapisuje się numery łopat kierownicy posiadające uszkodzone uszczelnienia gumowe. Jeżeli uszkodzenie obejmuje powyżej $1/3$ powierzchni uszczelniającej, a ubytki materiału są głębsze niż 3 mm, to uszczelnienie kwalifikuje się do wymiany.

Miejsca uszkodzeń kawitacyjnych oraz miejsca uszkodzone przez rumowisko na dolnym i górnym pierścieniu kierownicy lub pokrywie turbiny oraz na poszczególnych łopatach kierownicy obrysowuje się kredą, kwalifikuje charakter i postać uszkodzenia /uszkodzenie kawitacyjne lub przez rumowisko, wgniecenia lub bruzdy, zmatowienie powierzchni, wzrost chropowatości powierzchni z pojedynczymi wżerami, powierzchnia gąbczasta, powierzchnia gąbczasta z pojedynczymi pogłębionymi wżerami, pojedyncze większe i głębsze wżery/, za pomocą miary taśmowej mierzy się wymiary z dokładnością do 1 cm i oblicza pole obszarów uszkodzonych, głębokościomierzem lub przy miarem z drutu mierzy się największą głębokość ubytków materiału w uszkodzeniach z dokładnością do 1 mm, wyznacza liczbę i położenie obszarów uszkodzonych na poszczególnych częściach kierownicy oraz zapisuje na szkicach wszystkie dane o uszkodzeniach osobno dla uszkodzeń kawitacyjnych i osobno dla miejsc wgnieconych lub

startych przez rumowisko. Na szkicach łopat kierownicy podaje się jej numer oraz jej obie strony: bez uszczelnienia i z uszczelnieniem z oznaczeniem krawędzi wlotowej. Położenie obrysu obszarów uszkodzonych oznacza się w stosunku do najbliższej krawędzi łopaty. Uszkodzenia na pierścieniach kierownicy i pokrywie turbiny zapisuje się na szkicach rozwinięcia tych części. Dla uproszczenia poszczególne szkice mogą obejmować tylko 1-4 wycinki pierścieni, ograniczone sąsiednimi łopatami kierownicy, rys.12 i 13.

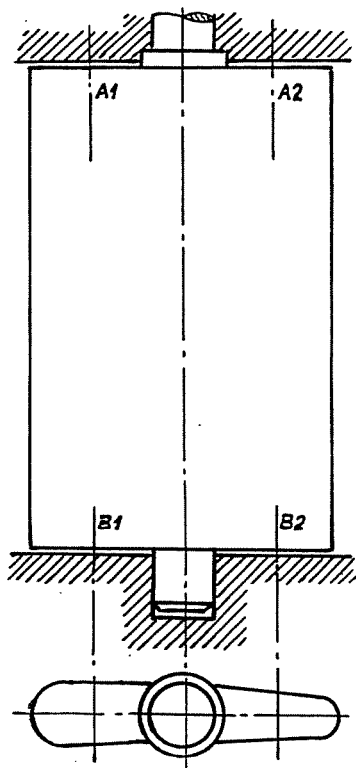


Rys.12. Szkic łopaty kierownicy z oznaczeniem obszarów uszkodzeń kawitacyjnych: 1-uszczelnienie gumowe, A₁, A₂, A₃, A₄-powierzchnie zerodowane



Rys.13. Szkic wycinka pierścienia dolnego kierownicy z oznaczeniem obszarów uszkodzeń kawitacyjnych: 4,5,6-numery łopat kierownicy, A₁, A₂-powierzchnie zerodowane

Tabela 8 . Protokół pomiarów rozwarłości szczelin między czołowymi powierzchniami łopat i pierścieni kierownicy



Średnia rozwarłość szczeliny górnej

$$\Delta_g = \frac{\sum A1 + \sum A2}{2z} \text{ mm}$$

Średnia rozwarłość szczeliny dolnej

$$\Delta_d = \frac{\sum B1 + \sum B2}{2z} \text{ mm}$$

z-liczba łopat kierownicy

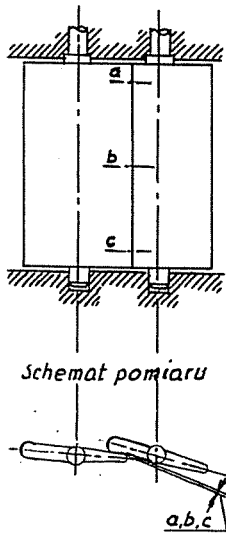
Nr łopat ty wg oznacze- nia wyt- wórni	Rozwarłość szczeliny w mm od strony			
	górnej		dolnej	
	wlotu A1	wylotu A2	wlotu B1	wylotu B2
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				

UWAGA: określenie wlotu i wylotu dotyczy pracy maszyny odwracalnej jako turbiny

Pomiary przeprowadził /Nazwisko i Imię, data, podpis/

Pomiary sprawdził /Nazwisko i Imię, data podpis/

Tabela 9 . Protokoł pomiarów rozwartości szczelin międzyłopatkowych kierownicy



Nr łopaty wg oznacze- nia wyt- wórni	Góra a mm	Środek b mm	Dół c mm
1-2			
2-3			
3-4			
4-5			
5-6			
6-7			
7-8			
8-9			
9-10			
10-11			
11-12			
12-13			
13-14			
14-15			
15-16			
16-17			
17-18			
18-19			
19-20			
20-21			
21-1			

Pomiary przeprowadził
/Nazwisko i Imię, data, podpis/
Pomiary sprawdził
/Nazwisko i Imię, data, podpis/

Wyniki pomiarów oraz ustalone położenia poszczególnych obszarów uszkodzeń części kierownicy zapisane na szkicach załącza się do karty technologicznej naprawy kierownicy turbiny. W karcie tej zamieszcza się też w postaci tabelarycznej zestawienie uszkodzeń z naliczeniem pól uszkodzonych powierzchni i głębokości uszkodzeń osobno dla uszkodzeń kawitacyjnych i osobno dla uszkodzeń spowodowanych rumowiskiem.

Oznaczyć kredą poziomą linię obrysu profilu łopaty kierownicy na nieuszkodzonym odcinku wysokości łopaty i w tej linii odwzorować obrys przekroju poprzecznego łopaty za pomocą dwóch szablonów z blachy stalowej o gr. 2 mm, z których każdy obejmuje połowę obrysu przekroju poprzecznego łopaty. Szablony w obu końcach powinny mieć przyspawane uchwyty i być połączone śrubami dla odтворzenia pełnego profilu łopaty. Szablon wykonuje się także dla odwzorowania konstrukcyjnego profilu pokrywy turbiny w miejscach uszkodzeń.

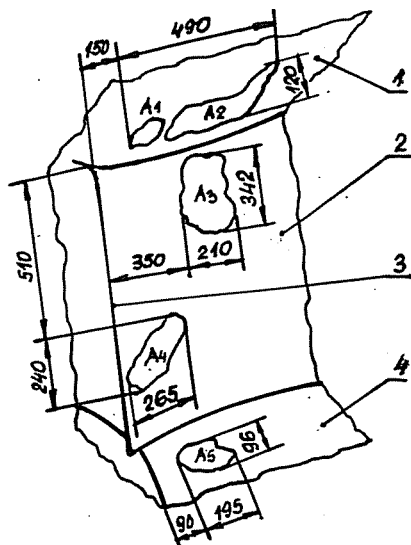
Dla ustalenia, czy wskutek uszkodzeń łopat i pierścieni kierownicy nie nastąpiła zmiana ich wzajemnego położenia oraz dla uzyskania bazy do sprawdzenia odkształceń łopat kierownicy po naprawie napawaniem mierzy się rozwartość szczelin pomiędzy czołowymi powierzchniami łopat i pierścieni kierownicy oraz rozwartość szczelin międzyłopatkowych kierownicy. Uzyskane wyniki pomiarów zapisuje się w protokołach pomiaru, tabl. 8 i 9.

W turbinach Francisa sprawdza się stan piasty, opływki, łopat i wieńca dolnego wirnika. Znalezione uszkodzenia obrysowuje się kredą, kwalifikuje charakter i postać uszkodzeń, mierzy pola, głębokość i położenie obszarów uszkodzonych na poszczególnych częściach wirnika oraz zapisuje na szkicach /rys. 14/ wszystkie dane o uszkodzeniach osobno dla uszkodzeń kawitacyjnych i osobno dla uszkodzeń spowodowanych rumowiskiem. Szkice załącza się do karty technologicznej naprawy wirnika turbiny. W karcie tej zamieszcza się też w postaci tabelarycznej /tabl. 10/ zestawienie uszkodzeń z naliczeniem pól uszkodzonych powierzchni i głębokości uszkodzeń osobno dla uszkodzeń kawitacyjnych i osobno dla uszkodzeń spowodowanych rumowiskiem.

Mierzy się szczeliny w uszczelnieniach labiryntowych wirnika. Otrzymane dane zapisuje się w protokóle.

Oznaczyć kredą poziome i pionowe linie charakterystyczne powierzchni części wirnika turbiny Francisa w obrębie uszkodzeń i w liniach tych odwzorować konstrukcyjny kształt powierzchni za

pomocą szablonu z blachy stalowej o gr.2 mm. Szablony oznaczyć tak, aby można było je zidentyfikować z odwzorowywanymi liniami na naprawianej części wirnika turbiny Francisa.



Rys.14. Szkic występowania obszarów uszkodzeń kawitacyjnych w wirniku turbiny Francisa: 1-piasta wirnika w sektorze między łopatkami nr 3 i 4, 2-strona wewnętrzna łopaty nr 3, 3-krawędź wylotowa łopaty nr 3, 4-wieniec dolny w sektorze między łopatkami nr 3 i 4, A₁, A₂, A₃, A₄, A₅-obszary uszkodzeń kawitacyjnych

W turbinach Kaplana sprawdza się stan łopaty i piasty wirnika. Znalezione uszkodzenia zapisuje się na szkicach /rys.15/ analogicznie jak przy innych elementach turbin. Szkice załącza się do karty technologicznej naprawy wirnika turbiny Kaplana. W karcie tej zamieszcza się też w postaci tabelarycznej zestawienie uszkodzeń z naliczeniem pól uszkodzonych powierzchni i głębokości uszkodzeń osobno dla uszkodzeń kawitacyjnych i osobno dla uszkodzeń spowodowanych przez rumowisko.

Oznaczyć kredą trzy linie pomiarowe na obu powierzchniach łopaty, w łukach zakreślonych promieniami równymi 0,9; 0,8 i 0,7 zewnętrznego promienia łopaty wirnika i w łukach tych odwzorować konstrukcyjny profil łopaty wirnika za pomocą szablonów z blachy stalowej o gr.2 mm. Szablon powinien być dzielony przy krawędziach wlotowej i wylotowej łopaty. W obu końcach połówek szablonu powinny być przyspawane uchwyty, łączone śrubami dla odwzorowania pełnego profilu łopaty wirnika w danym łuku. Szablony należy oznaczyć tak, aby można było je zidentyfikować z odwzorowywanym profilem łopaty wirnika.

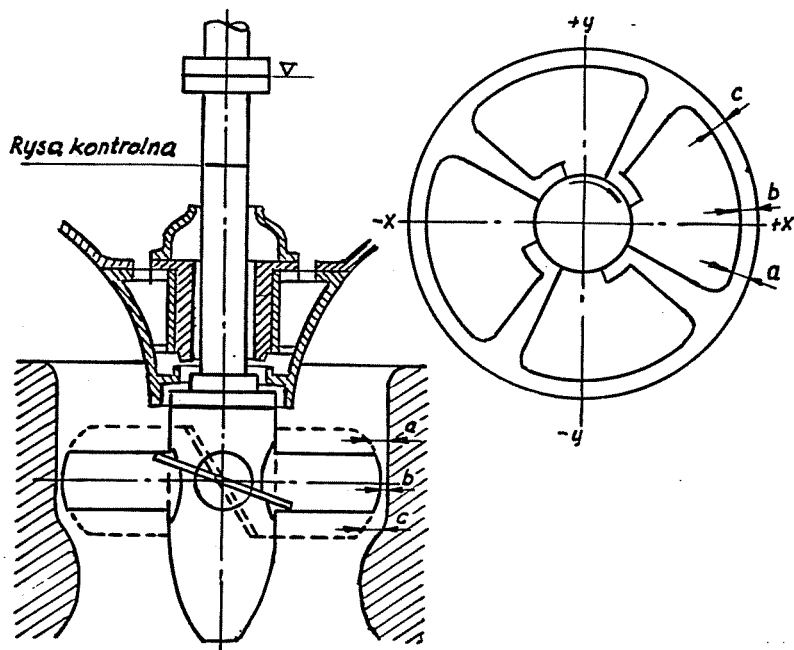
Dla odwzorowania profilu piasty wirnika, o ile występują na niej uszkodzenia kawitacyjne wymagające napawania, przygotowuje

Tabela 10. Protokół pomiarów uszkodzeń kawitacyjnych wirnika maszyny odwracalnej

Elektrownia wodna		Maszyna odwracalna		Data ostat- niej naprawy	Liczba godzin pracy			
		Typ	Nr		ogółem	od ostatniej naprawy		
Lp	Położenie uszkodze- nia między łopatami Nr. Nr	Max szerokość na obwodzie cm	Max wysokość na tworzącej cm	Powierzchnia cm ²	Głębokość ogólna mm	Miejscowe pogłębienie Głębokość mm Pow. cm ²		Uwagi
Uszkodzenia kawitacyjne piasty								
	-							
	-							
	-							
	-							
	-							
	-							
	-							
Uszkodzenia kawitacyjne opływki								
	-							
	-							
	-							
	-							
	-							
	-							
	-							
Uszkodzenia kawitacyjne pierścienia								
	-							
	-							
	-							
	-							
	-							
	-							
	-							
Weryfikację przeprowadził								
/Nazwisko i Imię, data, podpis/								

Tabela 11. Protokół pomiarów rozwartości szczelin między ścianą komory i krawędziami zewnętrznymi łopat wirnika turbiny Kaplana.

Położenie miejsc pomiaru grubości szczelin między ścianą komory wirnika i krawędziami zewnętrznymi łopat wirnika

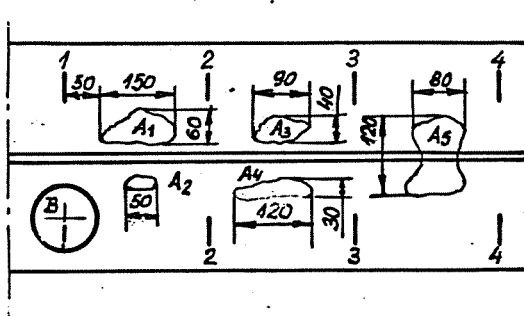


Położenie łopat		Całkowicie zamknięte			Całkowicie otwarte			Po obroceniu wirnika o 180°		
Nr łopaty	Grubość szczeliny mm	A	b	c	a	b	c	a	b	c
1										
2										
3										
4										

Pomiary przeprowadził
/Nazwisko i Imię, data, podpis/

Pomiary sprawdził
/Nazwisko i Imię, data, podpis/

Sprawdza się stan komory wirnika turbiny. Znalezione uszkodzenia zapisuje się na szkicu rozwinięcia komory analogicznie, jak przy innych elementach turbiny. Dla ułatwienia wyznaczania położenia uszkodzeń powierzchnię komory wirnika dzieli się pionowymi liniami, poczynając od pionowej osi wlotu, na sektory obejmujące kąt $22,5^{\circ}$. Linie granic sektorów należy oznaczyć kolejnymi liczbami poczynając od wlotu, rys.16.



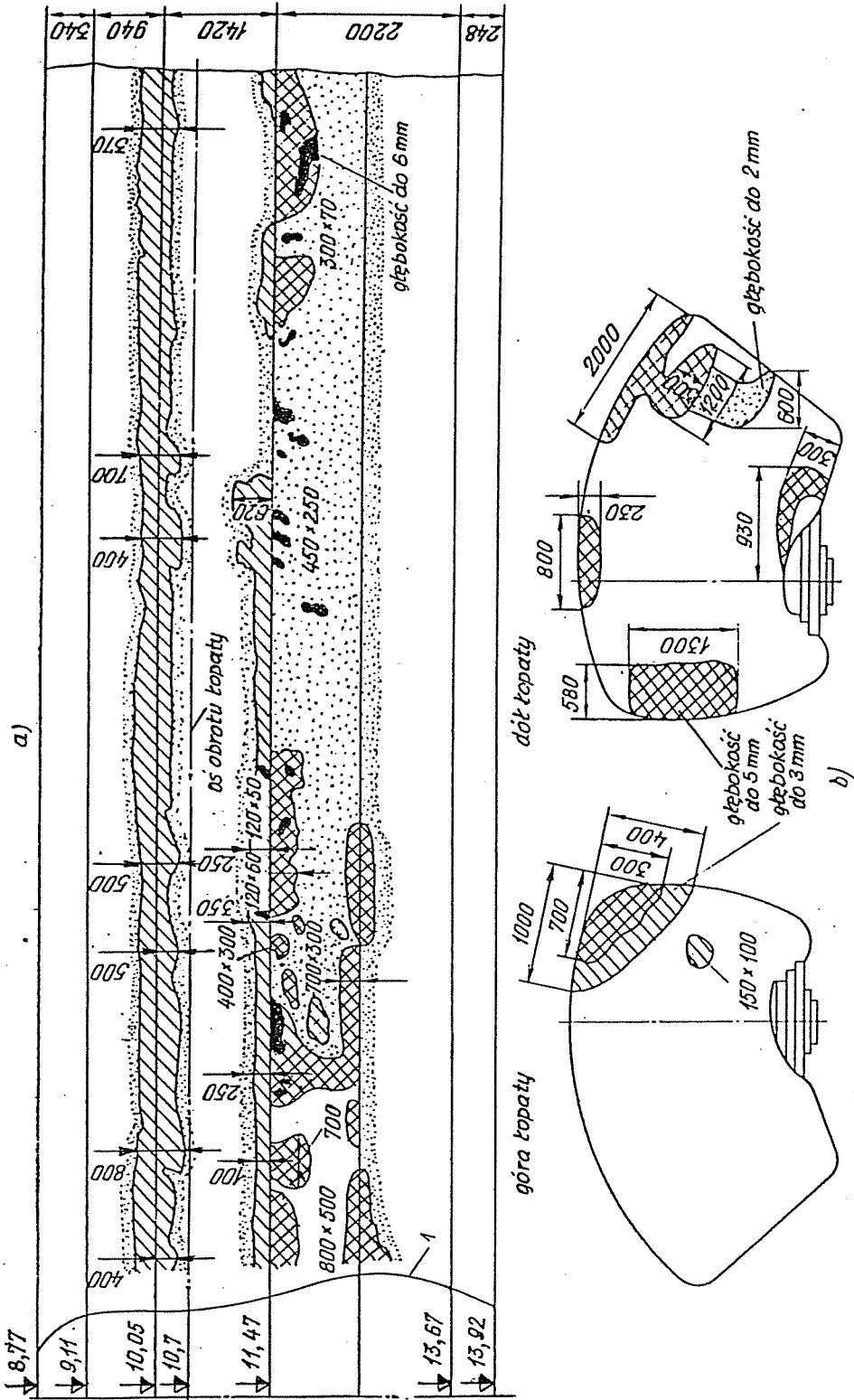
Rys.16. Szkic rozwinięcia powierzchni komory wirnika turbiny z oznaczeniem obszarów uszkodzeń kawitacyjnych: 1,2,3,4...-granice sektorów, A₁,A₂,A₃,A₄,A₅-powierzchnie zerodowane, B-właz

Przykład zapisu uszkodzeń kawitacyjnych na powierzchniach elementów kanału przepływowego turbiny Kaplana pokazano na rys.17 .

Szkic załącza się do karty technologicznej naprawy komory. W karcie tej zamieszcza się też w postaci tabelarycznej zestawienie uszkodzonych powierzchni i głębokości uszkodzeń osobno dla uszkodzeń kawitacyjnych i osobno dla uszkodzeń spowodowanych przez rumowisko.

Oznaczyć kredą linię pionową na powierzchni ściany komory wirnika w obszarze o najmniejszych uszkodzeniach i w linii tej odwzorować konstrukcyjny kształt komory za pomocą szablonu z blachy stalowej o gr.2 mm.

Dla każdego zidentyfikowanego uszkodzenia kawitacyjnego lub spowodowanego działaniem rumowiska na wszystkich elementach turbiny tworzących kanał przepływowy należy ustalić sposób przygotowania i sposób naprawy obszarów uszkodzeń. Przyjęte ustalenia należy zapisać w kartach technologicznych napraw danych elementów turbiny.



4, Przygotowanie uszkodzeń kawitacyjnych do naprawy

4.1. Sposoby przygotowania uszkodzeń kawitacyjnych do naprawy

Jeżeli uszkodzenia kawitacyjne wyrażają się tylko zmatowie-
niem powierzchni elementu turbiny i towarzyszącym mu powstaniem
ubytków materiału o głębokości nie przekraczającej 0,5 mm, to
naprawa uszkodzeń ogranicza się do szlifowania i polerowania usz-
kodzonego obszaru aż do uzyskania powierzchni odpowiadającej ob-
róbce wiórowej wykańczającej zwykłej. Nierówności powierzchni
łopat kierownicy, dolnego i górnego pierścienia kierownicy lub
pokrywy turbiny w obszarze współpracy z powierzchniami czołowy-
mi łopat kierownicy oraz łopat wirnika o wartości $Ra \leq 2,5 \mu m$
oraz nierówności powierzchni piasty wirnika, opływki, wieńca
dolnego wirnika turbiny Francisa i komory wirnika o wartości
 $Ra \leq 5,0 \mu m$, dostrzegalne gołym okiem lecz niewyczuwalne w do-
tyku, o ile to możliwe powinny się układać zgodnie z kierun-
kiem przepływu wody omywającej naprawiony szlifowaniem i po-
lerowaniem element turbiny wodnej.

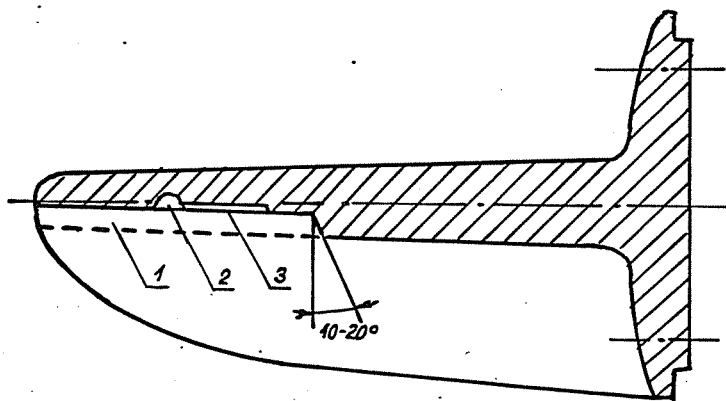
Jeżeli w obszarze uszkodzeń kawitacyjnych, zakwalifikowanych
do naprawy przez szlifowanie i polerowanie, znajdują się poje-
dyncze /do 8-10 sztuk/ nie tworzące skupisk wżery kawitacyjne
o polu powierzchni do 25 mm^2 i głębokości do 2 mm można je po-
zostawić bez wypełnienia. Przy większej liczbie i rozmiarach
wżerów należy je oczyścić przez rozwiercenie, wypełnić napawa-
niem i zeszlifować nadlewy napoin.

Liczbę i ogólną powierzchnię obszarów zerodowanych naprawio-
nych przez szlifowanie i polerowanie z ewentualnym napawaniem
pojedynczych wżerów należy zapisać w karcie technologicznej na-
prawy danego elementu turbiny.

Przy ubytkach kawitacyjnych o głębokości przekraczającej
0,5 mm naprawę uszkodzeń elementów turbiny przeprowadza się przez
wycięcie uszkodzonego obszaru aż do zdrowego materiału na głębo-
kość minimum 1 mm, napawanie wycięć i obróbkę wykańczającą nad-
lewów napoin.

4.2. Wycinanie metalu w obszarze uszkodzeń kawitacyjnych

Usunięcie z powierzchni elementu turbiny części metalu zniszczonego przez kawitację przysparza pewnych trudności. Głębokość zniszczeń kawitacyjnych w uszkodzonym obszarze może być różna, od zwiększonej chropowatości powierzchni, przez gąbczastość warstwy wierzchniej sięgającą na głębokość 15-20 mm do pojedynczych wżerów osiagających głębokość do 30 mm. Głębokość zniszczeń kawitacyjnych, zwłaszcza przy gąbczastości, trudno jest ocenić przy oględzinach powierzchni i pomiarach głębokościomierzem ze względu na pokrywające dno wżerów produkty korozji, przykrywające pęknięcia i mikropory. Dlatego potrzebne jest szczególnie dokładne usunięcie całej uszkodzonej warstwy metalu z powierzchni naprawianego elementu turbiny. Zwykle wyprowadza się powierzchnię wycięcia na określoną głębokość /do 50% uszkodzonej powierzchni/, a następnie miejscowo pogłębia przez wycięcie pojedynczych wżerów i pęknięć, rys.18.



Rys.18. Schemat wycinania obszaru uszkodzeń kawitacyjnych na łopacie wirnika turbiny Kaplana: 1-wycięty obszar uszkodzeń kawitacyjnych, 2-pogłębiony wżer, 3-wycięte pęknięcie

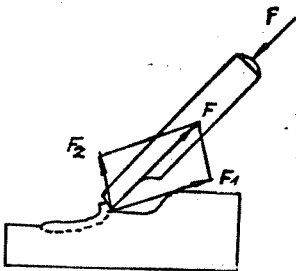
Wycinanie uszkodzonych obszarów o polu do 3 dm² o głębokości do 5 mm wykonuje się przez ręczne wiercenie, powiercanie, pilnikowanie i szlifowanie zgrubne. Przy naprawie uszkodzeń kawitacyj-

nych w postaci zmatowienia powierzchni lub wzrostu jej chropowatości stosuje się szlifowanie wykańczające i polerowanie. Wycinanie uszkodzonych obszarów o polu powyżej 3 dm^2 i głębokości ponad 5 mm przeprowadza się przez żłobienie elektropowietrzne.

Wiercenie, powiercanie. Operacje te wykonuje się przy wycinaniu pojedynczych wżerów kawitacyjnych o w przybliżeniu okrągłym przekroju poprzecznym. W celu zapobieżenia w czasie wycinania powiększania się pęknięcia stabilizuje się go przez wiercenie na jego końcach płytkich otworów o średnicy 4-6 mm, po czym dopiero wycina się metal aż do całkowitego usunięcia pęknięcia. Przy stosowaniu wiertarek z napędem elektrycznym lub pneumatycznym średnica wiercenia nie powinna przekraczać 30 mm.

Przy wierceniu dwustopniowym na powiercanie należy zostawić odpowiedni naddatek. Średnica powiercania nie powinna być mniejsza niż $1,5d$, gdzie d jest średnicą pierwszego wiercenia. Przy zbyt małym nadadtku na powiercanie wiertło ma tendencję do zakleszczania się w otworze. Operacje wiercenia i powiercania wykonuje się z reguły bez smarowania i chłodzenia.

Ścinanie, wycinanie. Operacje ścinania lub wycinania przy przygotowywaniu uszkodzeń kawitacyjnych do naprawy wykonuje się za pomocą wycinaków ręcznych lub z napędem pneumatycznym. Kształty i wymiary wycinaków powinny być dostosowane do wycinanego obszaru uszkodzeń. Rzeczywista wartość kąta natarcia i kąta przyłożenia wycinaka zależy od geometrii ostrza wycinaka i od kąta, pod jakim został on przyłożony do materiału. Wypadkowa oporu skrawania musi być równoległa do osi wycinaka, aby nie został on wypchnięty z materiału /rys.19/. Rzeczywisty kąt natarcia przy wycinaniu staliwa powinien zawierać się w granicach $12-20^\circ$.



Rys.19. Rozkład siły skrawania F przy wycinaniu: F_1 -składowa prostopadła do powierzchni natarcia, F_2 -składowa prostopadła do powierzchni obrabianej

Pilnikowanie. Przeprowadza się pilnikami ręcznymi lub pilnikami mechanicznymi /z napędem elektrycznym lub pneumatycznym/ o ruchu posuwisto-zwrotnym lub obrotowym.

Przy pilnikowaniu pilnikiem ręcznym wióry zbierające się między nacięciami pilnika często przywierają i dlatego przy ruchu powrotnym pilnika nie należy odrywać od obrabianej powierzchni lecz prowadzić go z naciskiem o połowę mniejszym. W ten sposób wióry zostaną oderwane i usunięte. Co pewien czas należy pilnik czyścić przesuwając mosiężną szczotkę wzdłuż nacięć.

Operacje obróbki pilnikami obrotowymi mają jednocześnie cechy obróbki pilnikiem i frezem palcowym. Przy pilnikowaniu pilnikami o ruchu posuwisto-zwrotnym lub obrotowym nie należy zbyt mocno dociskać pilnika do obrabianej powierzchni, gdyż powoduje to nadmierne obciążenie łożyska i szybkie niszczenie przyrządu.

Szlifowanie, polerowanie. Używa się ręcznych szlifierek mechanicznych, także szlifierek z giętkim wałkiem. Przy przygotowywaniu obszarów uszkodzeń kawitacyjnych do naprawy stosuje się szlifowanie zgrubne $Ra=5\text{ }\mu\text{m}$. Szlifowanie wykańczające $Ra=0,63\pm 0,32\text{ }\mu\text{m}$ i polerowanie stosuje się przy obróbce wykańczającej nadlewów napoin wypełniających ubytki kawitacyjne lub przy naprawach uszkodzeń kawitacyjnych wyrażających się zmatowieniem powierzchni lub wzrostem jej chropowatości.

Prędkości przy szlifowaniu ze względu na stałą prędkość obrotową wrzeczona ręcznej szlifierek można zmienić jedynie przez zmianę średnicy ściernicy. Przy pracy ręczną szlifierką należy pamiętać, że w wyniku pracy ściernicy w powietrzu znajdują się wirujące drobne cząstki ścierniwa i spoiwa ściernicy oraz, że może nastąpić rozerwanie ściernicy.

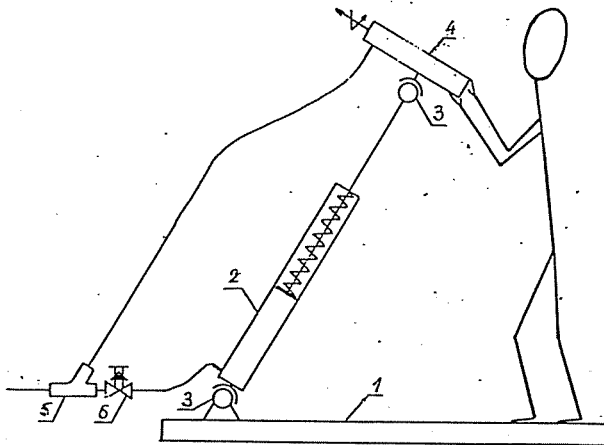
Polerowanie przeprowadza się przy użyciu past ściernych i miękkich tarczy filcowych osadzonych na wałku szlifierek. Należy pamiętać, że polerowanie nie poprawia kształtu geometrycznego obrabianej powierzchni, umożliwia tylko uzyskanie bardzo małej chropowatości powierzchni $Ra=0,04-0,01\text{ }\mu\text{m}$.

Produkowane w kraju ręczne narzędzia mechaniczne stosowane do wycinania uszkodzeń kawitacyjnych w kanałach przepływowych turbin wodnych mają masę w granicach 0,66-3,75 kg dla narzędzi z napędem pneumatycznym i 1,4-4,95 kg dla narzędzi z napędem elektrycznym. Ręczne operowanie takimi narzędziami, zwłaszcza przy wycinaniu

uszkodzeń w pozycji pułapowej, jest dość uciążliwe. Dlatego zaleca się pracować tymi narzędziami przy wykorzystywaniu odciążników podwieszonych o regulowaną wartość dopuszczalnego obciążenia, co pozwala stosować je do różnych narzędzi. Mają one małe wymiary i są dość wygodne w użyciu. W praktyce spotyka się odciążniki produkcji FRCS, typ S-73 i S-75 [17].

Możliwe są też inne konstrukcje odciążników, jak odciążniki mocowane obrotowo w osi piasty wirnika turbiny lub odciążniki podtrzymujące o konstrukcji przedstawionej schematycznie na rys.20.

Odciążnik ten składa się z podstawy /1/ oraz siłownika pneumatycznego /2/ z dwoma przegubami kulistymi /3/. Zasilany jest powietrzem z tego samego źródła, co narzędzie pneumatyczne /4/. Na wlocie do cylindra siłownika znajduje się zawór dławiący /6/ służący do regulacji ciśnienia w cylindrze, a tym samym do regulacji siły podtrzymującej narzędzie.



Rys.20. Schemat konstrukcji odciążnika podtrzymującego: 1-podstawa, 2-siłownik pneumatyczny, 3-przegub kulisty, 4-narzędzie z napędem pneumatycznym, 5-rozdzielacz powietrza, 6-zawór regulacyjny

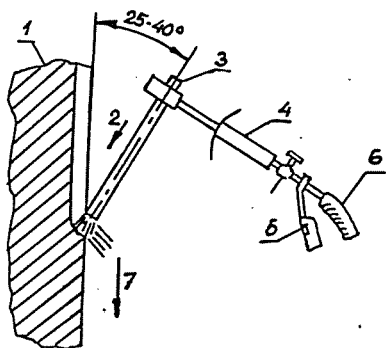
Uszkodzenia kawitacyjne komór wirników turbin Kaplana koncentrują się w pasie komory obejmującym przejście części kulistej w stożkową i zwykle występują na całym obwodzie komory. Takie położenie uszkodzeń stwarza możliwość wytaczania lub frezowania uszkodzonego metalu za pomocą specjalnego przyrządu /przenośnej wytaczarki lub frezarki/, osadzonego na dolnym pierścieniu kierownicy po wyjęciu wirnika turbiny z komory. Przyrząd taki jest

kosztowny oraz wymaga czasochłonnego i kłopotliwego demontażu turbiny wodnej [17].

Aby uniknąć demontażu wirnika można wykorzystać do mocowania przyrządów skrawających łopaty wirnika turbiny Kapiana. Na jednej z łopat mocuje się suport z narzędziem skrawającym /nóż tokarski lub frez/. Użycie freza wymaga dodatkowego napędu freza za pomocą giętkiego wałka. Napędzać wirnik turbiny można generatorem lub specjalną obracarką. Dla poprawności takiej obróbki należy zmniejszyć "bicie" wirnika przez zmniejszenie luzu łożysk prowadzących /jest to możliwe ze względu na małe obroty wirnika przy wycinaniu uszkodzeń kawitacyjnych komory/ [17].

Jak wykazały doświadczenia elektrowni wodnych w ZSRR wytaczanie komór jest wystarczająco wydajne, gdy grubość zdejmowanej warstwy nie przekracza 3-4 mm [16]. Koszt natomiast przenośnych wytaczarek jest znaczny i dlatego o ich stosowaniu powinien decydować rachunek kosztów i zysków.

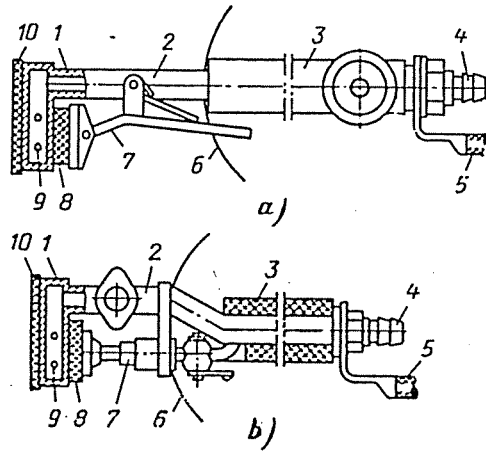
Najwydajniejszym sposobem wycinania zniszczonego przez kawitację metalu z powierzchni elementów turbin jest żłobienie elektropowietrzne, rys.21.



Rys.21. Schemat żłobienie elektropowietrzne: 1-wycinany element turbiny, 2-przepływ sprężonego powietrza, 3-elektroda węglowa, 4-rękojeść uchwytu spawalniczego, 5-doprowadzenie prądu elektrycznego, 6-doprowadzenie sprężonego powietrza, 7-kierunek wycinania

Przy żłobieniu elektropowietrznym łuk elektryczny jarzący się między elektrodą węglową /3/, osadzoną w uchwycie spawalniczym /4/ i wycinanym elementem turbiny /1/ topi metal. Roztopiony metal jest wydmuchiwany sprężonym powietrzem, którego strugę kieruje się równolegle do elektrody w strefę jarzącego się łuku.

Schematy uchwytów spawalniczych do żłobienia elektropowietrznego przedstawiono na rys. 22.



Rys. 22 . Schematy uchwytów spawalniczych do żłobienia elektropowietrznego stosowanych w ZSRR [16]: a/ uchwyt konstrukcji Uralskiego Instytutu Politechnicznego, b/ uchwyt konstrukcji Zaporozkiego Instytutu Budowy Maszyn

W uchwycie /a/ docisk elektrody /8/ do klocka kontaktowego uchwytu /1/ uzyskuje się w urządzeniu dźwigniowo-sprężynowym /7/, natomiast w uchwycie /b/ w tym celu stosuje się siłownik pneumatyczny /7/ o roboczym skoku tłoka 6-8 mm z dwudrożnym zaworem. Pozwala to uzyskać nie tylko dobry kontakt elektryczny klocka z elektrodą i pewne osadzenie elektrody w uchwycie, ale także możliwość szybkiej zmiany i regulacji wylotu elektrody przy żłobieniu elektropowietrznym.

Głównymi częściami uchwytu są miedziany klocek kontaktowy /1/ i przyspawana do niego miedziana rura ϕ 10-12x2-3 mm /2/ doprowadzająca powietrze z zaworem odcinającym i króćcem /4/ do osadzenia przewodu elastycznego doprowadzającego powietrze ze sprężarki, rękojeść /3/ z materiału elektroizolacyjnego i ognioodpornego, urządzenie /7/ do osadzania elektrody /8/ na klocku kontaktowym i osłona /6/ dla ochrony ręki spawacza przed rozpryskami metalu. W klocku kontaktowym znajdują się otwory doprowadzenia sprężonego powietrza do dwóch końcówek wylotowych o średnicy 2,5 mm kierujących strugi powietrza wzdłuż elektrody do

miejsca jarzenia się łuku. Zewnętrzna część klocka kontaktowego /1/ jest przykryta nasadką /10/ z materiału elektroizolacyjnego dla ochrony przed przypadkowym zwarciem klocka z obrabianym elementem turbiny wodnej. Prąd elektryczny doprowadzany jest przewodem /5/ przez rurę /2/ do klocka kontaktowego /1/ i elektrody /8/.

Opisane uchwyty wycinaków elektropowietrznych mają następujące charakterystyki:

- | | |
|---|--------------------|
| - nominalne natężenie prądu, A | - 400, |
| - maksymalne natężenie prądu, A, | - 1000, |
| - maksymalne zużycie powietrza 0,6 MPa, m ³ /godz. | - 43,5, |
| - maksymalne szerokość i grubość elektrody, mm | - 40 x 10, |
| - długość elektrod płaskich, mm | - 250 x 350, |
| - wymiary z osłoną: | |
| długość x szerokość x wysokość, mm | - 375 x 105 x 140, |
| - masa uchwyty, g | - 850. |

Jako źródło zasilania stosuje się spawarkę prądu stałego o nominalnym prądzie spawania 500A /granice regulacji prądu spawania 120-600A/. Gdy potrzebne jest większe natężenie prądu łączy się równolegle dwie spawarki. Elektrode łączy się na "+". Do żłobienia elektropowietrznego najlepiej stosować elektrody płaskie produkcji Zakładów Elektrod Węglowych 1-Maja w Raciborzu węglowo-grafitowe typu ESW-252, grafitowe typu ESW-254 lub węglowo-grafitowe miedziowane typu ESM-256 wg PN-79/E-69010. Te ostatnie elektrody zapewniają największą wydajność pracy i mimo znacznego obciążenia prądowego mają największą trwałość /30-50% większą niż elektrody typu ESW-252 lub ESW-254/.

Elektrody są wytwarzane o długościach 200, 300 i 400 mm. Szerokość wycięcia uzyskiwanego jednym przejściem łuku jest o 1,5-3 mm większa od szerokości elektrody. Głębokość wycięcia zależy od grubości elektrody, kąta nachylenia elektrody do obrabianej powierzchni i prędkości przesuwu elektrody.

W podanych zakresach obciążenia prądowego elektrod /tabl.12/ należy brać pod uwagę, że przy mniejszych gęstościach prądu wyraźnie zmniejsza się stabilność jarzenia łuku i spada wydajność wycinania. Przy większych gęstościach prądu wyraźnie zwiększa

się wydajność wycinania, jednak silnie zwiększa się zużycie elektrod i możliwość nawęglenia wycinanej powierzchni.

Tabela 12. Obciążenia prądowe płaskich elektrod węglowych

Wymiary elektrody mm	Obciążenie prądowe w A elektrod typu		
	ESW-252	ESW-254	ESM-256
3x10	40- 50	50- 75	160-200
3x25	75-100	100-150	440-520
4x15	40- 60	55- 70	320-400
4x20	50- 75	75-100	410-470
4x40	125-150	200-250	880-1020

Dobre jakościowo powierzchnie przy żłobieniu elektropowietrznym elementów turbin uzyskuje się przy przestrzeganiu następujących wymagań:

- 1/ Ciśnienie sprężonego powietrza należy utrzymywać w granicach 0,45-0,60 MPa. Mniejsze ciśnienie pogarsza jakość otrzymywanej powierzchni i znacznie zmniejsza intensywność wytapiania. Większe ciśnienie nadmiernie chłodzi metal, zmniejsza stabilność jarzenia się łuku, wydmuchuje słup łuku i przez to także pogarsza jakość otrzymywanej powierzchni.
- 2/ Przy wycinaniu powierzchni pionowej elektrodę przemieszcza się z góry na dół /najwygodniejszy kierunek/ lub w kierunku poziomym /w obie strony/, a przy pozycji pułapowej - od siebie. Kąt nachylenia elektrody do wycinanej powierzchni powinien wynosić 25-40° zależnie od grubości wycinanej warstwy metalu. Przy większym kącie nachylenia roztopiony metal podpływa pod łuk i jakość otrzymanej powierzchni obniża się. Przy mniejszym kącie znacznie zmniejsza się grubość wycinanej warstwy przy jednym przejściu i nieco pogarsza się jakość otrzymanej powierzchni.
- 3/ Należy zachować stałą prędkość przemieszczania elektrody. Natężenie prądu i prędkość przemieszczania elektrody należy tak dobrać, aby grubość zdejmowanej warstwy w jednym przejściu wynosiła 4-6 mm. Przy konieczności usuwania grubszych warstw metalu stosuje się kilka przejść. Przy żłobieniu elektropo-

wietrznym należy stosować krótki łuk /w miarę spalania elektroda powinna się przesuwac w uchwycie/ ponieważ przy długim łuku zmniejsza się stabilność jego jarzenia, pojawia się błędzenie łuku po obrabianej powierzchni i rozrywanie łuku przez strumień powietrza.

Przy wycinaniu elektropowietrznym elektrodami typu ESW-254 zależnie od parametrów procesu można uzyskiwać: intensywność wycinania metalu 13-21 kg/godz. oraz na 1 kg wyciętego metalu zużycie powietrza 2-3 m³, zużycie elektrod 40-50 g i zużycie energii elektrycznej 2-3 kWh [18].

Zależnie od parametrów procesu żłobienie elektropowietrzne daje nawęglenie otrzymanej powierzchni na głębokość do kilkuset mikrometrów [25]. Warstwa ta utrudnia poprawne wtopienie napoiny przy wypełnianiu ubytków kawitacyjnych. Dlatego niezależnie od jakości uzyskanej powierzchni wyciętej elektropowietrznie należy ją pilnikować lub szlifować dla usunięcia warstwy nawęglonej.

Dane o liczbie wycinanych obszarów uszkodzeń kawitacyjnych, sposobie wycinania, polu powierzchni i głębokości wycięć oraz liczbie i polu powierzchni obszarów uszkodzeń kawitacyjnych naprawionych przez szlifowanie i polerowanie zapisuje się w kartach technologicznych naprawy poszczególnych elementów turbiny.

4.3. Kontrola jakości przygotowania uszkodzeń do naprawy

Po wycięciu zerodowanego metalu uzyskane wycięcia powinny być przedmuchane sprężonym powietrzem w celu usunięcia wiórów metalowych i cząstek ściernicy.

Po oczyszczeniu należy dokładnie przeglądnąć wszystkie powierzchnie wycięć, aby upewnić się, czy całkowicie usunięto zniszczony metal, pomierzyć uzyskaną powierzchnię i głębokość poszczególnych wycięć, zliczyć pogłębione wycięcia pojedynczych wżerów i pęknięć, sprawdzić uzyskane kąty pochylenia bocznych ścian wycięć, ustalić kolejność napawania poszczególnych wycięć ewentualnie podzielić wycięcia na pola i ustalić kolejność napawania poszczególnych pól.

Przy pomiarze wycięć stosuje się znajdujące się w dobrym stanie miary taśmowe, głębokościomierze suwmiarkowe i kątomierze uniwersalne.

Kontur wyciętego obszaru uszkodzeń kawitacyjnych nie powinien posiadać ostrych przejść. Jeżeli jest przygotowany pod nałożenie blachy powinien odpowiadać jej wymiarom. Jeżeli jest przygotowany pod napawanie powinien być dostępny dla stosowanych średnic elektrod lub drutu elektrodowego /napawanie metodą MAG/.

Powierzchnie wycięć przegląda się przy pomocy lupy dla sprawdzenia, czy nie występują na niej pęknięcia. W miejscach podejrzanych o pęknięcia przeprowadza się kontrolę penetracyjną, stosując penetrant czerwony, jako środek wnikaający w pęknięcia wychodzące na powierzchnię, a następnie warstwę penetrantu białego, jako środek ujawniający penetrant czerwony wypełniający linie pęknięć. Wykryte pęknięcia należy wyciąć przecinakiem pneumatycznym aż do zdrowego metalu. Dla zapobiegnięcia rozwojowi pęknięcia przy wycinaniu, przed wycinaniem nawierca się w ujawnionych końcach pęknięcia płytkie otwory o średnicy 4-6 mm.

Wycięcia przygotowane pod nałożenie blach powinny zapewniać nałożonym blachom, jak najlepsze przyleganie. Z tego względu dna wycięć powinny mieć napawane wżery i pęknięcia i po obróbce mechanicznej wyprowadzone na jednakową głębokość z tolerancją $\pm 0,1$ mm /głębokość powinna odpowiadać grubości nakładanych blach/ i obrobione szlifowaniem wykańczającym. Chropowatość powierzchni dna wycięć nie powinna przekraczać $Ra \leq 0,63 \mu m$.

Dla sprawdzenia powierzchni wycięć w ścianie komory wirnika turbiny Kaplana można na łopacie wirnika zamocować przyrząd pomiarowy, np. czujnik zegarowy na podstawie magnetycznej i przy obrocie wirnika sprawdzać wymiary wycięć na całym obwodzie komory.

Wyniki kontroli przygotowania uszkodzeń do naprawy zapisuje się w karcie technologicznej naprawy danej części turbiny.

5. Naprawa uszkodzeń kawitacyjnych

5.1. Sposoby napraw uszkodzeń kawitacyjnych

Zależnie od intensywności erozji kawitacyjnej rozróżnia się następujące stadia rozwoju zniszczeń kawitacyjnych: zmatowienie powierzchni, wzrost chropowatości powierzchni z pojedynczymi wżerami, powierzchnia gąbczasta, powierzchnia gąbczasta z pojedynczymi pogłębionymi wżerami, skupienia rozległych i głębokich wżerów. Podział ten jest umowny i praktycznie w jednym obszarze uszkodzeń kawitacyjnych może wystąpić kilka stadiów rozwoju zniszczeń kawitacyjnych. Ze względu na przyjmowane sposoby naprawy wyróżnia się natomiast dwa typy zniszczeń kawitacyjnych:

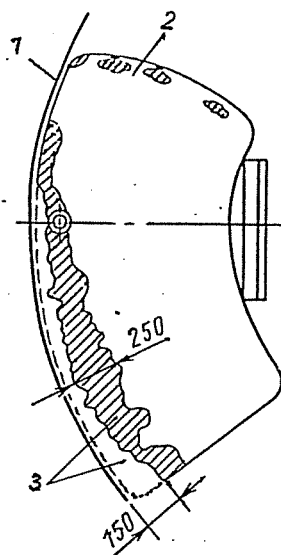
- 1/ zmatowienie powierzchni, wzrost chropowatości powierzchni do wartości $Ra=0,5$ mm, pojedyncze /do 8-10 sztuk/ nie tworzące skupisk wżery o łącznym polu powierzchni do 25 mm^2 i głębokości do 2 mm,
- 2/ ubytki metalu o głębokości powyżej 0,5 mm występujące w całym uszkodzonym obszarze.

Uszkodzenia I typu naprawia się przez szlifowanie wykańczające i polerowanie w sposób przedstawiony w pkt.4.1. Pojedyncze wżery w tym obszarze uszkodzeń można pozostawić bez wypełnienia, ewentualnie po oczyszczeniu /nawierceniu/ i odtłuszczeniu wypełnić kompozycją szpachlową na bazie żywicy epoksydowej lub zasypawać. Nadlewy kompozycji epoksydowej po utwardzeniu lub nadlewy napoiny szlifuje się wykańczająco i poleruje do wyrównania z kształtem i stanem otaczającej powierzchni naprawianego elementu turbiny wodnej.

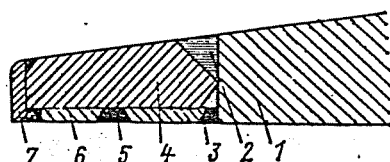
Uszkodzenia II typu wycina się aż do zdrowego metalu na głębokość minimum 1 mm, wypełnia wycięcia powłoką nakładaną technikami spawalniczymi, wstawkami z blachy lub kompozycją epoksydową.

Przy erozji kawitacyjnej zewnętrznych krawędzi łopat wirnika turbiny Kaplana szybko zwiększa się rozwartość szczeliny między łopatami i ścianą komory wirnika w kierunku przepływu strugi wody, rys. 23. Dla odtworzenia zewnętrznych krawędzi łopat wirnika bez demontażu wyjmowalnego sektora komory wirnika w przy-

padku dużych uszkodzeń, kiedy ich naprawa przez napawanie jest praktycznie niemożliwa, odcina się uszkodzony odcinek łopaty wirnika i w to miejsce przyspawia się wcześniej przygotowaną wstawkę, rys. 24. Przy spawaniu kontroluje się odkształcenie łopaty, nie dopuszczając do odchylenia wstawki od konstrukcyjnego kształtu łopaty wirnika więcej niż 1-2 mm.



Rys. 23. Uszkodzenie zewnętrznej krawędzi łopaty wirnika turbiny Kaplana odlanej ze staliwa 18DGŚL w wyniku kawitacji szczelinowej [24]: 1-komora, 2-łopata wirnika, 3-obszary uszkodzeń kawitacyjnych



Rys. 24. Naprawa zewnętrznej krawędzi łopaty wirnika turbiny Kaplana ze staliwa 18DGŚL przez przyspawanie specjalnej wstawki uprzednio platerowanej blachą ze stali odpornej na korozję [24]: 1-łopata wirnika, 2-spoina wykonana elektrodami E42, 3-spoina wykonana elektrodami austenitycznymi, 4-wstawka ze staliwa 20GSŁ, 5-mocująca spoina otworowa, 6-ochronne oblicowanie z blachy ze stali 12H18N10T, 7-ochronna napoina wykonana elektrodami austenitycznymi

5.2. Techniki wypełniania ubytków kawitacyjnych

Wycięte obszary zniszczonego metalu wypełnia się przez napawanie lub natryskiwanie cieplne stalą, spawanie blachy ze stali stopowej odpornej na korozję lub wypełnienie szpachlówką na bazie żywicy epoksydowej.

5.2.1. Napawanie

Podstawową techniką wypełniania ubytków kawitacyjnych jest ręczne napawanie łukowe stalowymi elektrodami otulonymi lub pół-automatyczne napawanie łukowe w aktywnych gazach ochronnych stalową elektrodą topliwą /metoda MAG/.

Jako źródła prądu przy ręcznym spawaniu łukowym stosuje się prostowniki spawalnicze /np. SPB-315/, przetwornice spawalnicze /np. EWh-450/ lub transformatory spawalnicze /np. ET-200 lub ETc-500/. Muszą to być spawarki przystosowane do spawania przy dużych odległościach od spawarki i posiadać napięcie biegu jałowego nie przekraczające 80 V przy spawaniu prądem stałym i 35 V przy spawaniu prądem przemiennym. Ponieważ spawarka umieszczona jest poza turbiną pożądane jest zdalne sterowanie prądem spawania, a konieczne przynajmniej zdalne wyłączanie spawarki. Do zdalnego sterowania prądem spawania najlepiej nadaje się prostownik spawalniczy.

Obszary przygotowane do napawania powinny być osuszone i chronione przed zawilgoceniem. Bezpośrednio przed rozpoczęciem napawania wskazane jest podgrzanie napawanych powierzchni płomieniem palnika acetylenowo-tlenowego lub grzejnikiem indukcyjnym do temperatury 100-150°C, kontrolowanej za pomocą termopary przyłogowej lub kredkami Termocolor. Strefa nagrzewania powinna sięgać na 300 mm od obrysu obszaru napawania. W czasie napawania temperaturę podgrzewania podtrzymuje się za pomocą ponownego nagrzewania lub samogrzania ciepłem łuku elektrycznego, przy czym obrzeża obszaru napawania przykrywa się płachtą azbestową. Przy napawaniu elementów turbin wodnych wykonanych ze staliwa LH14 elektrodami EN 10-10B i ES 18-8B, jeżeli napawane wycięcie ma pole powyżej 500 cm², a głębokość wycięcia przekracza 50 mm zaleca się temperaturę podgrzewania wstępnego i między-

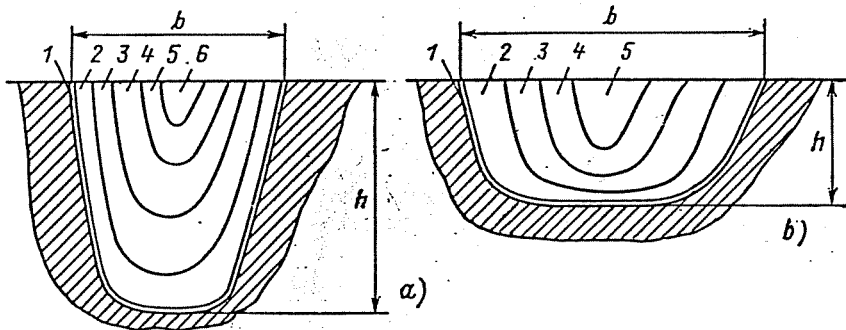
warstwową zwiększyć do 200-250°C.

Po zakończeniu napawania obszar napawany i przylegający materiał w pasie o szerokości 300 mm przykrywa się płachtą azbestową.

Przed przystąpieniem do napawania obszarów wyciętych uszkodzeń kawitacyjnych należy zaspawać miejscowe wycięcia głębszych wżerów i pęknięć przy użyciu elektrod EB146 o średnicy 3,25 mm /E 43 4B 20 PN-88/M-69433/ dla elementów turbin wykonanych ze staliwa węglowego konstrukcyjnego /np. LII450 wg PN-85/H-83152/ lub staliwa stopowego konstrukcyjnego /np. L20G wg PN-79/H-83156/ lub elektrod ES 18-8B o średnicy 3,25 mm /19.9 ES 18-8B PN-79/M-69435/ dla elementów turbin wykonanych ze staliwa stopowego odpornego na korozję /np. LH14 wg PN-86/H-83158/. Wycięcia miejscowe spawa się tak, aby po zeszlifowaniu nadlewu lico wyrównało się z powierzchnią wycięcia całego uszkodzonego obszaru.

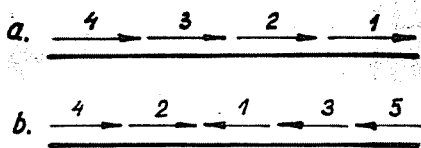
Przy napawaniu stosuje się następujące sposoby układania ściągów dla zminimalizowania naprężeń i odkształceń spawalniczych.

Przy napawaniu wycięć o większym przekroju ścięgi układa się EN 10-10B w pierwszej warstwie o średnicy 3,25 mm, a w następnych warstwach o średnicy 4 mm, poczynając od dna wycięcia i wychodząc następnie na boczne ściany, rys. 25.



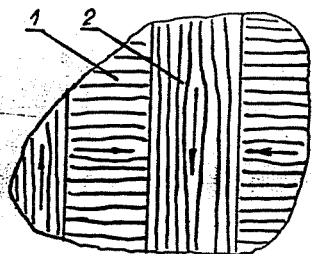
Rys. 25. Schemat napawania wycięć o większym przekroju: a/ wąskie wycięcia; $b < h$, b/ szerokie wycięcie; $b > h$: 1-warstwa powierzchniowa wykonana elektrodą ϕ 3,25 mm, 2-6-kolejność układania warstw wykonanych elektrodą ϕ 4 mm

Przy długości wycięcia mniejszej niż 200 mm wypełnia się go ściegami prostymi, ciągłymi ze zmianą kierunku napawania w każdej warstwie o 180° . Przy długości wycięcia większej niż 200 mm należy wypełniać wycięcie ściegami krokowym lub krokowym od środka do brzegów wycięcia ze zmianą kierunku napawania w każdej warstwie o 180° , rys.26. Długość ściegu zależy od zużycia jednej elektrody /100-200 mm/. Ze względu na brak miejsca w kanałach przepływowych turbiny spawanie prowadzi się krótkimi elektrodami /250 mm/. W przypadkach braku takich elektrod dzieli się elektrody o długości 450 mm na połowy.



Rys.26. Sposoby układania ściegów napoiny: a-krokowy, b-krokowy od środka, 1+5-kolejność układania ściegów

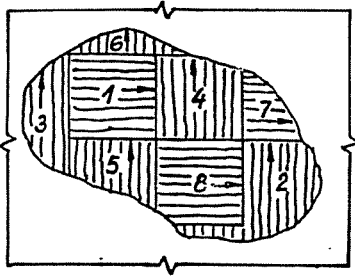
Napawanie wycięć o małych rozmiarach /poniżej 250x250 mm/ wykonuje się nie dzieląc tej powierzchni na mniejsze, zmieniając kierunek układania ściegów w każdej warstwie, rys.27. Dotyczy to napoin wykonywanych w pozycjach podolnej i pułapowej. Natomiast przy napawaniu wycięć na powierzchniach pionowych /ściany komory wirnika, łopaty kierownicy/ wszystkie warstwy napoiny układa się w pozycji naściennej, zmieniając w następnej warstwie kierunek układania ściegów o 180° .



Rys.27. Kierunki układania ściegów w napoinie wielowarstwowej wycięć o małych wymiarach: 1-pierwsza warstwa, 2-druga warstwa

Napawanie wycięć o dużych wymiarach /powyżej 250x250 mm/ wykonuje się dzieląc je na pola kwadratowe o wymiarach nie większych niż 150x150 mm. Pole te napawa się oddzielnie w takiej kolejności, aby na początku napawania każdego z nich obszar grani-

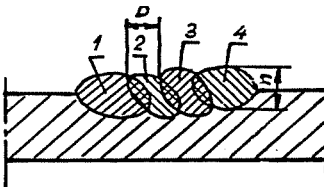
czących pól miał temperaturę maksymalnie 200°C , a kąt pomiędzy kierunkiem napawania w sąsiednich polach wynosił 90° , rys.28.



Rys.28. Podział powierzchni wycięcia na pola do napawania:
1+8-kolejność napawania pól

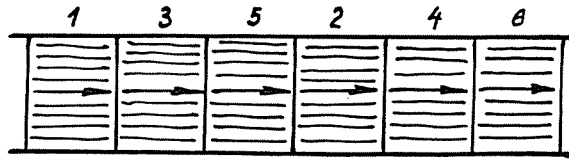
Jeżeli przewiduje się wypełnianie wycięcia dalszymi warstwami, to każda następna warstwa w danym polu powinna mieć kierunek układania ściegów prostopadły do kierunku ściegów w warstwie poprzedniej.

Ściegi wykonuje się jako proste, przy czym układa się je na zakładkę równą $1/4$ szerokości ściegu. Głębokość wtopienia ściegów w napawaną powierzchnię lub w poprzednią warstwę napoiwy nie powinna przekraczać $1/4$ grubości ściegu | rys.29.



Rys.29. Jednowarstwowe napawanie wycięć: 1+4-kolejność układania ściegów, b-szerokość ściegu, h-głębokość ściegu

Przy napawaniu wycięć obwodowych w komorze wirnika turbiny ze względów technologicznych nie krzyżuje się ściegów napoiwy w kolejnych warstwach. Wszystkie ściegi w warstwach wykonuje się w pozycji naściennej poczynając od dolnej krawędzi wycięcia. Dla zwiększenia frontu robót i zrównoważenia obciążeń cieplnych obwód wycięcia komory dzieli się na sektory o długości łuku odpowiadającej długości ściegu ułożonego z jednej elektrody. Napawanie prowadzi się jednocześnie w 2-4 sektorach naprzeciwległych ściegami skokowymi, rys.30.

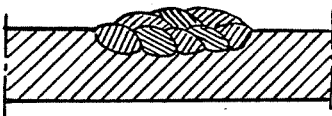


Rys.30. Skokowe układanie ściegów napoiny przy wypełnianiu obwodowo wyciętych uszkodzeń kawitacyjnych komory wirnika turbiny: 1+6-kolejność napawania sektorów

Przy napawaniu ściany komory wirnika turbiny Kaplana bez demontażu łopat wirnika, obraca się je do pełnego otwarcia, a wirnik obraca się tak, aby stworzyć dostęp do napawania wybranego sektora ściany komory wirnika. Po zakończeniu napawania tego sektora wirnik obraca się tak, aby stworzyć dostęp do napawania następnego sektora.

Przy układaniu następnej warstwy ściegów zmienia się kierunek układania ściegów o 180° , przy czym osie ściegów warstwy następnej pokrywają się z liniami wtopienia ściegów warstwy poprzedniej, rys.31.

Po nałożeniu warstwy napoiny w danym wycięciu należy ją oczyścić młotkiem spawalniczym i szczotką stalową do uzyskania czystego metalu. Przeprowadza się oględziny lica napawanej warstwy, a w miejscach wątpliwych badania penetracyjne. Ujawnione wady na powierzchniach lic ściegów /wtrącenia żużla, przyklejenia, pęknięcia, podtopienia lica, otwarte pęcherze, kratery, nawisy lica/ należy wyciąć przecinakiem pneumatycznym i zaspawać przed ułożeniem następnej warstwy. Nie wolno usuwać wad przez młotkowanie lub przetopienie łukiem elektrycznym.



Rys.31. Wielowarstwowe napawanie wycięć przy równoległym układaniu ściegów w poszczególnych warstwach

Wycięcia obszarów uszkodzeń kawitacyjnych na niepracującej stronie łopat wirnika turbiny Kaplana napawa się w pozycji pułapowej. Aby polepszyć warunki pracy spawacza do napawania łopaty

wirnika obraca się do położenia rozruchowego, zbliżonego do kąta odpowiadającego pełnemu otwarciu łopat wirnika.

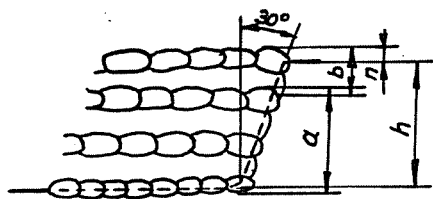
Wycięcia obszarów uszkodzeń kawitacyjnych w polach przylegających do zewnętrznej krawędzi łopaty wirnika turbiny Kaplana napawa się przy użyciu miedzianej wkładki, włożonej ciasno w szczelinę między ścianę komory wirnika i łopatę.

Ze względów technologicznych napawanie wycięć łopat kierownicy turbiny prowadzi się tylko w pozycji naściennej poczynając od dolnej krawędzi łopaty, podobnie jak przy napawaniu wycięć na ścianie komory wirnika. Przy napawaniu wycięć dochodzących do dolnej krawędzi łopaty kierownicy w szczelinę między dolnym pierścieniem kierownicy i czołową powierzchnią dolną łopaty kierownicy wkłada się blachę miedzianą, na której układa się pierwszy ścieg naprawy.

Wycięcia obszarów uszkodzeń kawitacyjnych o głębokości 1-2 mm napawa się jedną warstwą o grubości 2-3 mm przy użyciu elektrody EN 10-10B^{1/} stosowanej do uzyskiwania warstw powierzchniowych[23]. Wycięcia obszarów uszkodzeń o głębokości 3-5 mm napawa się dwiema warstwami, przy czym pierwszą warstwę o grubości 1-2 mm wykonuje się przy użyciu elektrod EN 10-10B o średnicy 3,25 mm, a następną warstwę o grubości 3-4 mm wykonuje się przy użyciu elektrod EN 10-10B o średnicy 4 mm.

Wycięcia obszarów uszkodzonych o głębokości powyżej 5 mm napawa się trzema lub więcej warstwami, przy czym pierwszą warstwę podkładową wykonuje się przy użyciu elektrod EB146 o średnicy 3,25 mm dla elementów turbin wykonanych ze staliwa węglowego konstrukcyjnego /np. LII450 wg PN-85/H-83152/ lub staliwa stopowego konstrukcyjnego /np. L20G wg PN-79/H-83156/ lub elektrod ES 18-8B o średnicy 3,25 mm dla elementów turbin wykonanych ze staliwa stopowego odpornego na korozję /np. LH14 wg PN-86/H-83158/. Dalsze warstwy podkładowe o grubości 3-4 mm wykonuje się takimi samymi elektrodami lecz o średnicy 4 mm. Liczbę warstw podkładowych ustala się zależnie od grubości ubytków kawitacyjnych /głębokości wycięcia/ tak, aby możliwe było wykonanie dwóch warstw powierzchniowych, jak na rys.32, o łącznej grubości 4-6 mm.

^{1/} Zamiast elektrod EN 10-10B można stosować inne elektrody dopuszczone przez Zakłady Remontowe Energetyki



Rys.32. Schemat napawania wycięcia obszaru uszkodzeń: h-głębokość wycięcia, a-warstwy podkładowe, b-warstwy powierzchniowe, n-nadlew wysokości ok. 1 mm

W celu wprowadzenia jak najmniejszej ilości ciepła w naprawiany element turbiny i ograniczenia odkształceń spawalniczych zaleca się prowadzić napawanie przy minimalnych parametrach.

Dla ograniczenia udziału metalu podłoża w napoinie, zmniejszenia rozprysku i wypalania się składników stopowych oraz ułatwienia układania ściegów, zwłaszcza przy napawaniu w pozycjach przymusowych, zaleca się, aby spawacz prowadził elektrodę przy możliwie najkrótszym łuku, zapewniającym optymalny przebieg procesu.

Szybkość napawania w pierwszej warstwie podkładowej i w pierwszej warstwie powierzchniowej powinna zapewnić głębokość wtopienia nie przekraczającą $1/4$ grubości ściegu. Szerokość ściegu nie powinna przekraczać 2,5 raza średnicy elektrody. Kratery końcowe ściegów należy starannie zapełnić przez ponowne zarzarcie łuku. Przy napawaniu należy stosować natężenie prądu stałego zalecane przez producentów elektrod. Przy braku takich zaleceń można stosować natężenie prądu podane w tabl. 13. W tych warunkach napawania uzyskuje się wydajność procesu 1-2 kg/godz.

Zastosowane parametry napawania warstw podkładowych i powierzchniowych należy odnotować w karcie technologicznej naprawy danego elementu turbiny i potwierdzić je podpisem spawacza.

Na obrzeżu nadlewu napoiny wycięcia uszkodzonego obszaru należy się liczyć z nasileniem wad spawalniczych w postaci podtopień na odcinkach ściegów przylegających do obrzeża wycięcia uszkodzonego obszaru, wtrąceń żuźla i niewypełnionych kraterów w zakończeniach ściegów na obrzeżu wycięcia uszkodzonego obszaru. W takich przypadkach po oczyszczeniu młotkiem spawalniczym i szczotką drucianą w obrzeżu nadlewu napoiny należy ułożyć dodatkowy ścieg przy użyciu elektrod EN 10-10B o średnicy 3,25 mm.

Tabela 13. Warunki ręcznego napawania łukowego elektrodami otulonymi

Gatunek elektrody	Średnica mm	Biegunowość	Natężenie prądu w A w pozycjach		
			podłnej naściennej	pionowej	połapowej
EB 146	3,25	+	120-140	110-130	110-130
EB 146	4	+	140-160	130-150	130-150
ES 18-8B	3,25	+	90-110	80-100	80-100
ES 18-8B	4	+	110-130	100-120	100-120
EN 10-10B	3,25	+	100-120	90-110	90-110
EN 10-10B	4	+	130-150	120-140	120-140

Dane dotyczące ujawnionych wad napoiu i sposobu ich usunięcia należy odnotować w karcie technologicznej naprawy danego elementu turbiny i potwierdzić je podpisem spawacza.

Wprowadzenie elektrod otulonych z rdzeniem proszkowym rozszerzyło możliwość regulacji składu chemicznego napoiu, a dodatkowo dzięki większej oporności elektrycznej rdzenia elektrody jest możliwy ponad 100% wzrost wydajności napawania do 2-4 kg/godz. i skrócony czas stapiania elektrody. Rozszerzony jest dopuszczalny zakres natężenia prądu dla danej średnicy elektrody i mniejszy udział metalu podłoża w napoinie. Elektrody pokrywa się cienką warstwą topnika odpornego na wilgość, zapewniającego stabilne jarzenie się łuku i równomierną, łatwą do usunięcia warstwę żużla. Często jest natomiast konieczne ograniczenie grubości warstwy napawanej do 2-3 mm.

Elektrody otulone z rdzeniem proszkowym produkowane są między innymi przez f. Messer Griesheim z Frankfurtu nad Menem [15] i f. ESAB z Göteborga w Szwecji [2].

Do napawania półautomatycznego elektrodą topliwą w gazach ochronnych można stosować półautomaty MAGPOL-401D, MAGPOL-630D, TYROS-400 i TYROS-630, wyposażone w podajnik drutów pełnych ZP-2 i podajnik drutów proszkowych ZP-3, produkowane przez Opolskie Zakłady Aparatury Spawalniczej w Opolu. Przy prowadzeniu napawania w turbinie wodnej zasilacz półautomatu powinien znajdować

się poza turbiną, natomiast w miejscu napawania znajduje się podajnik drutu i uchwyt z przewodem węzowym składającym się z węza giętkiego doprowadzającego drut elektrodowy, przewodów prądowych i sterowniczych oraz węza doprowadzającego gaz ochronny. Przy stosowanych natężeniach prądu napawania wystarczający jest uchwyt fajkowy chłodzony naturalnie.

Przy wykonywaniu warstw podkładowych napoin stosuje się drut stalowy SpG3S1-1,2/1,6/sz-pa PN-77/M-69420 dla elementów turbin wykonanych ze staliwa węglowego konstrukcyjnego /np. LII450 wg PN-85/H-83152/ lub staliwa stopowego konstrukcyjnego /np. L20G wg PN-79/H-83156/ lub drut stalowy Sp06H19N9-1,2/1,6/sz-pa PN-77/M-69420 dla elementów turbin wykonanych ze staliwa stopowego odpornego na korozję /np. LH14 wg PN-86/H-83158/. Do wykonania warstw powierzchniowych stosuje się drut stalowy Sp24H14-1,2/1,6/sz-pa PN-79/M-69420. Zamiast tego drutu mogą być stosowane inne druty dopuszczone przez Zakłady Remontowe Energetyki. Wydaje się, że odpowiednim byłby drut stalowy gatunku Sp35H10G9-1,2/1,6/sz-pa, lecz nie jest on w kraju produkowany.

Drutem SpG3S1 napawa się w osłonie CO₂ /metodą MAG/, natomiast drutami Sp06H19N9 i Sp24H14 napawa się w osłonie argonu. Drut o średnicy 1,6 mm stosuje się przy napawaniu w pozycji podolnej i naściennej, natomiast drut o średnicy 1,2 mm stosuje się przy napawaniu w pozycji pionowej i pałapowej.

Napawanie półautomatyczne elektrodą topliwą w gazach ochronnych prowadzi się w zasadzie prądem stałym o biegunowości dodatniej. Można stosować cztery metody napawania: łukiem krótkim zwarciovym, łukiem wydłużonym natryskowym, łukiem pulsującym i łukiem przerywanym. Przy napawaniu prowadzonym w turbinie wodnej należy wykluczyć napawanie łukiem natryskowym. Podstawową techniką jest natomiast napawanie łukiem krótkim zwarciovym, który daje małe przetopienie metalu podłoża /5-20%/, małe naprężenia i odkształcenia spawalnicze i możliwość napawania w pozycjach przymusowych, niestety kosztem zmniejszenia wydajności pracy do 2,6-3,6 kg/godz, w porównaniu z napawaniem łukiem natryskowym /4-10 kg/godz/. Warunki półautomatycznego napawania łukiem krótkim zwarciovym elektrodą topliwą w gazach ochronnych podano w tabl.14.

W podanych warunkach można uzyskać wydajność napawania 2,6-3,6 kg/godz. przy użyciu drutu o średnicy 1,6 mm oraz

1,8-2,6 kg/godz. przy użyciu drutu o średnicy 1,2 mm.

Przy półautomatycznym napawaniu elektrodą topliwą w gazach ochronnych wewnątrz turbiny wodnej stosuje się takie same zasady, jak przy ręcznym napawaniu łukowym elektrodami otulonymi. Ze względu na większą podaż gazów spawalniczych należy zintensyfikować wentylację ogólną, natomiast prędkość odciągania powietrza w wentylacji stanowiskowej powinna być dobrana tak, aby nie było zdmuchiwania osłony gazowej łuku elektrycznego.

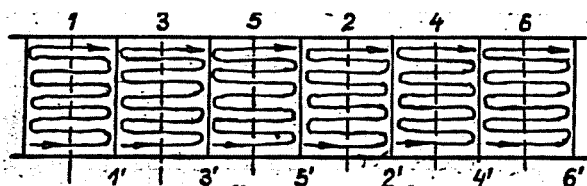
Tabela 14. Warunki półautomatycznego napawania elektrodą topliwą w gazach ochronnych

Drut elektrodowy	Położenie osi napoiny	Średnica drutu mm	Natężenie prądu A	Napięcie łuku V	Prędkość napawania m/min	Natężenie przepływu gazu l/min	Wylot drutu elektrodowego mm
SpG3S1	podłone naścienne	1,6	200-230	24-26	24	12	13-20
	pionowe	1,2	120-140	19-21	35	12	8-15
	pułapowe	1,2	120-140	19-21	35	12	8-15
Sp06H19N9 Sp24H14	podłone naścienne	1,6	180-210	24-26	24	12	13-20
	pionowe	1,2	110-130	19-21	35	12	8-15
	pułapowe	1,2	110-130	19-21	35	12	8-15

Ściegi wykonuje się jako proste, bez ruchu wachadłowego uchwyty spawalniczego. Głębokość wtopienia ściegu w sąsiedni ścieg, napawaną powierzchnię lub poprzednią warstwę napoiny powinna wynosić 15-20% grubości lub szerokości ściegu.

Przy ręcznym napawaniu łukowym elektrodami otulonymi długość ściegu w danych warunkach napawania była wyznaczona przez długość elektrody. Przy półautomatycznym napawaniu elektrodą topliwą w gazach ochronnych ze względu na mniejsze wprowadzenie ciepła w napawany element turbiny można stosować ściegi dłuższe lub ciągłe, aż do wypełnienia całej warstwy napoiny. Dla przykładu na rys.33 przedstawiono schemat napawania sektorów wycię-

cia obwodowego na ścianie komory wirnika turbiny. Podobnie, jak i przy ręcznym napawaniu łukowym elektrodami otulonymi granice sektorów napawania następnej warstwy nie powinny się pokrywać z granicami sektorów poprzedniej warstwy. Na granicach sektorów powinno się uzyskiwać wtopienie ściegów sąsiednich sektorów w granicach 15-20% grubości ściegu.



Rys. 33. Schemat układania ściegów przy półautomatycznym napawaniu elektrodą topliwą w gazach ochronnych obwodowo wyciętego uszkodzenia kawitacyjnego ściany komory wirnika turbiny: 1+6-kolejność napawania sektorów w pierwszej warstwie, 1'+6'-kolejność napawania sektorów w drugiej warstwie

Napawanie łukiem pulsującym uzyskuje się przez nałożenie na prąd stały impulsów prądu pulsującego, co realizuje się przez połączenie równoległe dwóch źródeł prądu: źródła prądu stałego z płaską charakterystyką zewnętrzną oraz specjalnego źródła prądu pulsującego z częstotliwością 50-100 Hz. Przy napawaniu łukiem pulsującym zawartość CO_2 w gazie ochronnym nie może przekraczać 25%. Napawanie łukiem pulsującym w stosunku do napawania prądem stałym daje mniejsze przetopienie podłoża i ułatwia napawanie w pozycjach przymusowych. Przez regulację parametrów impulsowania prądu możliwa jest dokładna regulacja przenoszenia metalu w łuku.

Napawanie łukiem przerywanym uzyskuje się przez zastosowanie specjalnej głowicy spawalniczej, powodującej wibrację drutu elektrodowego wzdłuż jego osi. Łuk spawalniczy zapala się i gaśnie z częstotliwością impulsów podawania drutu elektrodowego 50-100 Hz o amplitudzie równej w przybliżeniu średnicy drutu. Zależnie od wymaganej grubości warstwy napawanej stosuje się druty o średnicy 0,6-2,4 mm. W jednym przejściu można ułożyć warst-

wę napoiny o grubości 0,5-3 mm. Jako osłonę łuku spawalniczego i jeziorka stosuje się najczęściej CO_2 . Przykładowo napawanie drutem ze stali 3H13 o średnicy 1,6 mm prowadzi się w następujących warunkach: prędkość napawania 0,78-0,95 m/min, natężenie prądu 120-160 A, amplituda wibracji 1,6 mm, częstotliwość wibracji 80 1/s, natężenie przepływu CO_2 10-12 l/min, grubość warstwy napawanej 2 mm.

Przy napawaniu półautomatycznym łukiem przerywanym w gazach ochronnych uzyskuje się małe grubości wtopienia /udział metalu podłoża w napoinie nie przekracza 10%/, wąską SWC, minimalne naprężenia i odkształcenia spawalnicze.

Wprowadzenie drutów proszkowych znacznie rozszerzyło zakres zastosowania półautomatycznego napawania elektrodą topliwą w gazach ochronnych, gdyż możliwości wytwarzania drutów pełnych o złożonych składach chemicznych ograniczone są wymaganiami przeróbki plastycznej. Produkowane obecnie druty proszkowe pozwalają na napawanie warstw w osłonie gazowej /najczęściej CO_2 lub $\text{Ar}+\text{CO}_2$ / lub bez osłony /druty samoosłonowe/ praktycznie o dowolnym składzie chemicznym.

Wewnątrz powłoki metalowej ze stali niskowęglowej grubości 0,5-0,8 mm umieszczone są sproszkowane składniki topnikowe i stopowe. Do napawania w turbinie wodnej stosuje się druty proszkowe, zasadowe, niskowodorowe. Składniki topnikowe rdzenia proszkowego drutu elektrodowego tworzą ochronną powłokę żużla, łatwą do usunięcia, działającą odtleniająco i rafinująco na stopiwo, wprowadzając pierwiastki stopowe do stopiwa oraz stabilizują łuk. W przypadku drutów samoosłonowych dochodzi jeszcze zadanie wytwarzania własnej osłony gazowej łuku i jeziorka spawalniczego gazami powstającymi z rozpadu lub odparowywania części składników topnikowych.

Napawanie półautomatyczne drutami proszkowymi samoosłonowymi, dzięki prostej konstrukcji uchwytu spawalniczego, dobrej widoczności łuku, umożliwia napawanie w trudnodostępnych miejscach kanałów przepływowych turbiny wodnej, małych złożonych powierzchni. Innymi zaletami osłony strefy spawania złożonej z żużla i strumienia CO_2 są: 1/ uzyskanie gładkiej drobnołuskowej powierzchni napoin, 2/ zmniejszenie rozprysków, 3/ przedłużenie krzepnięcia napoiny, dzięki czemu mogą ujść gazy powodujące jej porowatość, 4/ lepsza ochrona stopiwa przed utlenieniem. Natomiast wadami na-

napawania drutami proszkowymi są: 1/ konieczność starannego suszenia drutu bezpośrednio przed napawaniem, ponieważ rdzeń proszkowy jest higroskopijny, 2/ konieczność usuwania żużla z lica napoiny, 3/ mniejsza wydajność niż przy napawaniu drutem litym w osłonie CO_2 . Napawanie powinno być więc ograniczone do przypadków, gdzie nie można stosować drutu litego lub zamiast spawania elektrodami otulonymi, 4/ nie można stosować napawania krótkim łukiem, co ogranicza napawanie w pozycjach przymusowych, 5/ konieczność zwiększenia wentylacji przy napawaniu w turbinie, ze względu na zwiększone wydzielanie dymów spawalniczych, zwłaszcza przy stosowaniu drutów samoosłonowych.

5.2.2. Natryskiwanie cieplne

Natryskiwanie cieplne charakteryzuje się brakiem przetopienia metalu podłoża, a natryskana powłoka jest połączona z podłożem adhezyjnie lub mechanicznie. Źródłem ciepła stapiającym materiał dodatkowy, w postaci drutu lub proszku, najczęściej jest płomień gazowy lub łuk elektryczny. Powłoki natryskane w jednym przejściu mogą mieć grubość 0,01-0,5 mm. Wydajność natryskiwania stała dochodzi do 15 kg/godz. Cechą powłok natryskanych cieplnie jest porowatość /do 10%/ i częściowe utlenienie.

Powierzchnie przygotowane do natryskania powinny mieć stosunkowo dużą chropowatość. Przy wycinaniu uszkodzeń kawitacyjnych na elementach turbin wodnych wykańczającą obróbką będzie więc pilnikowanie.

Przy natryskiwaniu gazowym jako gaz palny stosuje się najczęściej acetylen, który daje najwyższą temperaturę płomienia 3100°C . Stopione i rozpylone cząstki nakładanego metalu o średnicy w granicach 0,001-0,2 mm pędzone przez gaz palny lub sprężone powietrze z prędkością 120-360 m/s uderzają o podłoże i ulegają spłaszczeniu tworząc cienkie płytki dopasowujące się do nierówności podłoża. Nierówności te tworzą dla ciekłych cząstek naturalne zakotwiczenie. Następne cząstki spajają się z cząstkami zakotwiczonymi na podłożu. W ten sposób tworzy się powłoka o wiązaniach adhezyjnych i kohezyjnych. Głównym jest jednakże wiązanie mechaniczne.

Pistolety do natryskiwania gazowego przy użyciu drutu /np. Metal 63A produkcji Instytutu Mechaniki Precyzyjnej w Warszawie/ ważą 1,5-3 kg i składają się z: układu napędu drutu /średnica drutu do 4,8 mm/ zwykle pneumatycznego oraz głowicy gazowej sterującej przepływem acetylenu, tlenu i sprężonego powietrza.

Przed natryskiwaniem podłoże metalowe trzeba podgrzać wstępnie do temperatury 200°C w celu usunięcia wilgoci. Przy natryskiwaniu palnik prowadzi się ręcznie ruchem posuwisto-zwrotnym trzy do sześciu razy, tak aby pierwsza warstwa miała grubość 0,08-0,15 mm, natomiast następne warstwy ok. 0,25 mm. Prędkość przesuwu palnika wynosi 5-6 m/min. Odległość palnika od natryskiwanego podłoża 100-250 mm. Pierwszą warstwę często natryskuje się drutem z molibdenu, co polepsza przyczepność powłoki do podłoża. Po ułożeniu pierwszej warstwy zmienia się drut i kierunek natryskiwania o kąt 90° . Po nałożeniu ostatniej warstwy wyłącza się podawanie drutu, a lico napoiu roztapia się nagrzewając płomieniem palnika ruchem posuwisto-zwrotnym.

Natryskiwanie gazowo-proszkowe polega na podawaniu proszku metalu z pojemnika do płomienia acetylenowo-tlenowego, w którym ulega on stopieniu i pod ciśnieniem gazów płomienia jest rzucany na natryskowaną powierzchnię. Pistolet do natryskiwania gazowo-proszkowego /np. PP1 produkcji Instytutu Mechaniki Precyzyjnej w Warszawie lub PM12A produkcji f.Perun w Warszawie/ składa się z palnika gazowego z wymiennymi końcówkami i pojemnika proszku z rurką podającą proszek do płomienia grawitacyjnie lub pod ciśnieniem. Przy natryskiwaniu ręcznym przy ciśnieniu tlenu 0,255 MPa i ciśnieniu acetylenu 0,034-0,048 MPa uzyskuje się wydajność procesu do 3 kg/godz.

Do natryskiwania stosuje się proszki o ziarnistości 0,1-0,15 mm. Na podgrzane do temperatury 200°C podłoże jako pierwszą natryskuje się warstwę spajającą z aluminku niklu o grubości 0,1-0,2 mm, a następnie po zmianie proszku dalsze warstwy o grubości 0,2-0,4 mm, aż do uzyskania powłoki wymaganej grubości. Palnik utrzymuje się prostopadle do natryskiwanego podłoża w odległości 50-150 mm i przesuwa ruchem posuwisto-zwrotnym z prędkością zapewniającą ułożenie warstwy wymaganej grubości. Po ułożeniu każdej warstwy należy zmienić kierunek układania warstwy następnej o 90° . Po nałożeniu ostatniej warstwy wyłącza się podawanie proszku, a lico napoiu roztapia się płomieniem palnika ruchem posuwisto-zwrot-

nym. Można w ten sposób uzyskać powierzchnię nie wymagającą następnego szlifowania.

Przy natryskiwaniu elektrycznym łukowym metal końców dwu drutów, między którymi jarzy się łuk elektryczny, jest stapiany, rozpylany strumieniem sprężonego powietrza i rzuwany na podłoże. Do natryskiwania elektrycznego łukowego produkowane są w kraju pistolety ręczne typu PMG-76 przez Instytut Mechaniki Precyzyjnej w Warszawie. Typowe urządzenie do natryskiwania elektrycznego łukowego składa się ze źródła prądu stałego, układu sterowania, dwu szpul z drutem elektrodowym, układu podawania drutu i źródła sprężonego powietrza. Przy napawaniu wewnątrz turbiny źródła prądu stałego i sprężonego powietrza muszą znajdować się poza turbiną.

Przy natryskiwaniu elektrycznym łukowym cząstki metalu z końców drutów elektrodowych są wyrzucane z częstotliwością ok. 100 razy na sekundę, wynikającą z oscylacji końców drutów, wywołanej okresowym ich zwieraniem. Ponieważ temperatura łuku jest wyższa niż temperatura płomienia gazowego cząstki metalu mają wyższą temperaturę, dzięki czemu lepiej przywierają do podłoża. Stopień spojenia można zwiększyć zmniejszając odległość dyszy pistoletu od podłoża do 50-75 mm, obniżając ciśnienie powietrza i dając większe napięcie łuku.

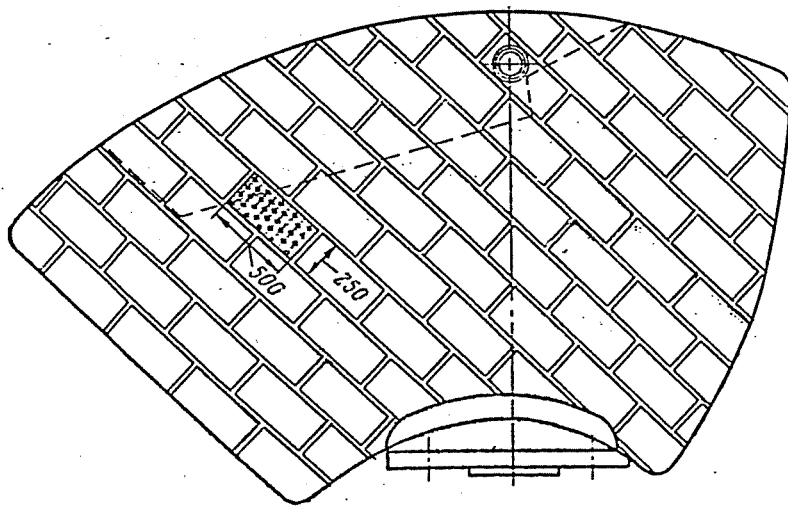
Podstawowymi parametrami natryskiwania elektrycznego łukowego są: natężenie i napięcie prądu, prędkość podawania drutu, ciśnienie powietrza, średnica drutu, odległość dyszy pistoletu od podłoża i prędkość przesuwu pistoletu. Optymalne parametry natryskiwania dobiera się doświadczalnie, wychodząc z zalecanych warunków pracy posiadanego urządzenia. Pistolet prowadzi się ręcznie w odległości 50-150 mm od podłoża z wyraźnie większą prędkością przesuwu /ponad 60 m/min/ niż przy natryskiwaniu gazowym, aby uniknąć przegrzania podłoża. Przy natryskiwaniu łukowym nie są wymagane pośrednie warstwy spajające. Poza tym technika natryskiwania łukowego uszkodzeń kawitacyjnych turbin wodnych jest taka sama, jak przy natryskiwaniu gazowym przy użyciu drutu. Grubość uzyskiwanych warstw w jednym przejściu wynosi 0,01-0,5 mm, a wydajność procesu przy natryskiwaniu stałą wynosi 3-15 kg/godz.

Jak wykazała dotychczasowa praktyka regeneracji części maszyn trwałość powłok natryskiwanych cieplnie jest ogólnie biorąc mniejsza niż powłok napawanych ze względu na niedostateczną przyczep-

ność warstw natryskanych do podłoża, porowatość warstw i zanieczyszczenie ich tlenkami.

5.2.3. Platerowanie

Przy produkcji turbin wodnych, dla ochrony przed erozją kawitacyjną stosuje się niekiedy platerowanie ścian komór wirników i łopat wirników turbin Kaplana odcinkami blachy 250x500x3 mm ze stali 1H18N9T, rys.34. Odcinki blachy spawa się po obrysie łukowo ręcznie elektrodami CE-9^{1/} do podłoża, którym jest blacha ze stali St3 /ściany komór wirników/ lub staliw L20G /łopaty wirników turbin Kaplana/. Oprócz tego odcinki blachy plateru spawa się do podłoża spoinami otworowymi, rozmieszczonymi co 50-100 mm, rys.34.



Rys. 34. Schemat łopaty wirnika turbiny Kaplana platerowanej od strony niepracującej odcinkami blachy ze stali 1H18N9T

Obok uszkodzeń kawitacyjnych plateru z towarzyszącymi im często pęknięciami zmęczeniowymi, głównie w miejscach ostrej zmiany

1/ Elektrody CE-9 typu EA-2B wg GOST 10052-75 mają rdzeń z drutu stalowego Sw-07H25N13 wg GOST 2246-70.

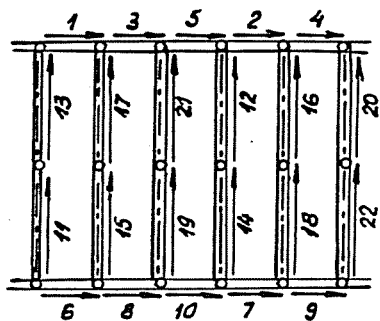
kształtu i niezeszlifowanych nadlewów spoin, występują także wybrzuszenia plateru, pęknięcia spoin z częściowym oderwaniem odcinka plateru od podłoża, a nawet całkowite oderwanie i wypadnięcie odcinka plateru z miejsca jego osadzenia. Jedną z głównych przyczyn odrywania się odcinków plateru od podłoża jest złe jakościowo osadzenie i przyspawanie ich do podłoża; niewłaściwe dopasowanie i przyleganie odcinków plateru do podłoża oraz wady spoin mocujących odcinki plateru do podłoża /przyklejenia, podtopienia, porowatość, nie wypełnione kratery, pęknięcia/. Drugą przyczyną odrywania się plateru od podłoża jest nadmierne zmniejszenie jego grubości przy obróbce wykańczającej plateru dla ścięcia nadlewów spoin i nadania elementom turbin konstrukcyjnego kształtu. Wskutek obciążeń wibracyjnych w najsłabszych miejscach plateru /przede wszystkim w strefach wpływu ciepła spoin/ powstają pęknięcia prowadzące do oderwania całego odcinka plateru. Warto tu dodać, że obciążenia pulsujące od strug wody opływających powierzchnię łopaty wirnika i obciążenia dynamiczne wynikające z wibracji wirnika sumujące się z obciążeniami kawitacyjnymi nakładają się na pozostające naprężenia spawalnicze powstałe przy spawaniu odcinków plateru do podłoża.

Podstawową metodą naprawy ww.uszkodzeń plateru jest wycięcie uszkodzonych odcinków plateru wycinakiem pneumatycznym, oczyszczenie podłoża szlifierką pneumatyczną do zdrowego metalu /często pod naderwanym platerem występuje korozja podłoża/ i wspawanie nowych odcinków plateru. Dla zwiększenia trwałości naprawy wspawa się nowe odcinki plateru ze stali 1H18N9T lub 30H10G10 o wymiarach 50x500x3 mm [16], co pozwala zrezygnować z wykonywania mocujących spoin otworowych.

Jeżeli uszkodzenia kawitacyjne na nieplaterowanych powierzchniach elementów turbin wodnych obejmują powierzchnie ponad 1250 cm² a głębokość uszkodzeń nie przekracza 3 mm to praktycznie trudno je napawać bez podgrzewania wstępnego, a napawanie jest pracochłonne. Dla zmniejszenia trudności i pracochłonności naprawy takich uszkodzeń można zastąpić napawanie pokryciem wyciętych uszkodzeń odcinkami blachy ze stali 1H18N9T lub 30H10G10 /blachy produkowane w ZSRR [16]/ o grubości 3 mm. Do napraw takich nadają się zwłaszcza uszkodzenia kawitacyjne łopat wirnika turbiny Kaplana oraz ścian komór wirników.

O powodzeniu naprawy w dużym stopniu decyduje jakość przylegania blachy do dna wycięcia uszkodzenia kawitacyjnego. Trzeba zapewnić jak najlepsze przyleganie. Stąd przy obróbce dna wycięcia stosuje się szlifowanie wykańczające, a sama obróbka dna wraz ze sprawdzeniem przylegania ukształtowanego odcinka blachy jest praco- i czasochłonna. Bez uzyskania dobrego przylegania plateru do podłoża już po stosunkowo krótkim okresie eksploatacji następują wybrzuszenia i oderwania odcinków plateru od podłoża i przyspieszenie zużycia kawitacyjnego.

Maksymalna głębokość wycięcia pod nałożenie plateru nie powinna być mniejsza niż 2,5 mm, tak aby na obróbkę wykańczającą wspawanego plateru pozostało nie więcej niż 0,5 mm. Wymiary odcinków plateru nie powinny przekraczać 30-50 mm szerokości i 400 mm długości. Wycięcia uszkodzeń kawitacyjnych o większych polach powierzchni wypełnia się szeregiem odcinków plateru, rys.35.



Rys.35. Wypełnianie obwodowo wyciętego uszkodzenia kawitacyjnego ściany komory wirnika turbiny odcinkami plateru: o-spoiny szczipne, 1+22-kolejność układania odcinków jednościgowych spoin V50⁰, b=6 mm

Po dopasowaniu i założeniu odcinków plateru ustala się ich położenie za pomocą spoin szczipnych, rozstawionych co 50-100 mm, a następnie spawa na obrzeżach spoinami V50⁰, b=6 mm z wtopieniem w materiał podłoża elektrodami otulonymi EN 10-10B^{1/} o średnicy 3,25 mm. Przy spawaniu przetapia się spoiny szczipne.

Jak wykazała eksploatacja elektrowni wodnych w ZSRR platerowanie uszkodzeń kawitacyjnych blachami ze stali 30H10G10 w kilku przypadkach zapewniło większą trwałość naprawionym elementom

1/ Zamiast elektrod EN 10-10B mogą być stosowane inne elektrody dopuszczone przez Zakłady Remontowe Energetyki

turbin niż platerowanie blachami ze stali 1H18N9T. W większości przypadków platery ze stali 30H10G10 i 1H18N9T w jednakowym stopniu wskutek wybrzuszenia i odrywania od podłoża ulegały przyspieszonemu zużyciu kawitacyjnemu i wymagały przyspieszonej naprawy. W związku z tym zrezygnowano całkowicie z platerowania przy naprawie uszkodzeń kawitacyjnych turbin wodnych [16].

5.2.4. Nakładanie kompozycji epoksydowej

Do wypełniania ubytków kawitacyjnych w elementach turbin wodnych można też stosować dwuskładnikowe kompozycje epoksydowe. Jednym ze składników jest żywica epoksydowa z dodatkiem plastyfikatora i wypełniacza, zwana "bazą". Jako plastyfikator często stosuje się ftalan dwubutyłu w ilości 20% w stosunku do żywicy, a jako wypełniacz - proszki metali i aerosil dodawane w ilości niezbędnej dla nadania gotowej do użytku /po wymieszaniu z utwardzaczem/ kompozycji epoksydowej odpowiedniej tiksotropowości /konsystencji pasty/, dla zapobieżenia obciekania kompozycji nakładanych na ścianach pionowych [28].

Drugim składnikiem kompozycji jest utwardzacz, najczęściej trójetylenoczteteroamina, o nazwie handlowej TECZA lub Z-1, zapewniająca utwardzenie kompozycji w temperaturze pokojowej. Proporcje bazy do utwardzacza mogą być stosunkowo szerokie /tabl.15 /, co ułatwia przygotowanie kompozycji, przy czym wpływa na własności utwardzonej kompozycji. Dla przykładu w tabl.15 podano własności kompozycji produkowanych przez firmę Belzona Molecular Metalife Ltd z Anglii.

Technika wypełniania ubytków kawitacyjnych w elementach turbin wodnych za pomocą kompozycji epoksydowych obejmuje:

- 1/ Przygotowanie odcinka tektury i trzech łopatek drewnianych do pobierania składników kompozycji z puszek, mieszania kompozycji i nakładania jej w wycięte, osuszone i odtłuszczone uszkodzenia kawitacyjne.
- 2/ Wycięcie uszkodzeń kawitacyjnych przeprowadza się podobnie, jak przy przygotowaniu uszkodzeń do napawania z tym, że wycina się tylko pojedyncze wżery lub skupiska wżerów i to na

zróżnicowaną głębokość, tak aby uzyskać w dnie wycięcia błyszczący metal. Przy wycinaniu uszkodzeń mniejsza jest użyteczność szlifierek, a większa użyteczność wiertarek, wycinaków i pilników pneumatycznych.

Tabela 15. Charakterystyki kompozycji epoksydowych produkcji firmy Belzona Molecular Metalife Ltd [20].

Wyszczególnienie	Własności kompozycji		
	E-Metal	XL-Metal	Super Metal
Przeznaczenie	do szybkich napraw techniką klejenia	do nakładania warstw ochronnych	uniwersalny materiał naprawczy
Proporcje bazy do utwardzacza Okres przydatności do użycia /100g, 20°C/	1:1 5 min	2:1 20 min	3:1 30 min
Czas tężenia warstwy grubości 6 mm:			
a/ bez obciążenia	10 min	2 godz	1,5 godz
b/ lekkie obciążenie i mechaniczna obróbka	12 min	4 godz	2,5 godz
c/ pełne obciążenie mechaniczne i cieplne	14 min	24 godz	12 godz
Wytrzymałość na:			
a/ rozciąganie [MPa]	-	-	45,7
b/ ściskanie [MPa]	66,8	63,3	116,0
c/ ścinanie w złączu ze stalą nierdzewną [MPa]	21,2	19,7	20,4
d/ uderzenia [Ncm]	980	127	127
Twardość HRH	19	30	60
Uwaga: Wszystkie własności mechaniczne można zwiększyć o 30% przez wygrzewanie stężącej kompozycji /lampami promiennikowymi/ przez 4-6 godz. w temperaturze 100°C			

- 3/ Przygotowanie i nakładanie kompozycji epoksydowej. Osobnymi łopatkami z puszek pobiera się bazę i utwardzacz i dokładnie miesza oba składniki w zalecanej proporcji wg oceny wzrokowej. Kompozycję nakłada się w wycięte uszkodzenia kawitacyjne jednorazowo. Wypełnione uszkodzenia kawitacyjne należy przykryć odcinkami folii polietylenowej, a po upływie połowy czasu tężenia nałożonej warstwy kompozycji /tabl.15/, gdy jest ona jeszcze miękka, można ją przez folię polietylenową wygładzić mokrą ręką.

4/ Bezpieczeństwo i higiena pracy. Zarówno baza, jak i utwardzacz nie zawierają palnych rozpuszczalników i reagują z płomieniem dopiero w temperaturze powyżej 65°C . Oba składniki nie są toksyczne. Przy uczuleniu skóry pracownik wykonujący naprawę powinien używać gumowych rękawiczek. Kompozycję pozostającą na rękach po mieszaniu jej i nakładaniu w uszkodzenia kawitacyjne należy zmyć wodą z proszkiem lub pastą.

Dotychczasowa eksploatacja turbin wodnych wykazała, że wypełnienia uszkodzeń kawitacyjnych kompozycjami epoksydowymi nie są trwałe w warunkach kawitacji. Dlatego można je stosować tylko przy wypełnieniach małych wżerów /o polu do 25 mm^2 / i traktować tylko jako naprawę tymczasową do czasu najbliższego planowanego remontu bieżącej turbiny wodnej, w którym naprawi się te uszkodzenia przez napawanie.

5.3. Kontrola jakości naprawy

Przed rozpoczęciem kontroli jakości naprawy uszkodzeń kawitacyjnych II typu przez szlifowanie i polerowanie kontrolowany obszar należy dokładnie oczyścić z cząstek ścierniwa, wiórów metalu i pasty polerskiej. Kontrolowana powierzchnia powinna być dobrze oświetlona, ale światło nie może być rażące.

Przy przeglądzie powierzchni należy zwrócić uwagę na jakość wypełnienia pojedynczych wżerów, jeżeli nie zostały pozostawione bez naprawy, zwłaszcza na przyleganie wypełnienia do obrzeży wżerów. Ewentualne przyklejenia, odstawanie, pęknięcia i podtopienia w tym obszarze powinny być wycięte wycinakiem pneumatycznym i ponownie wypełnione.

Na powierzchni nie powinno być przypaleń szlifierskich i wgłębień wyczuwalnych w dotyku. Chropowatość uzyskanej powierzchni powinna odpowiadać obróbce wiórowej wykańczającej zwykłej. Nie-równości powierzchni na łopatach kierownicy i wirnika turbiny $Ra \leq 2,5\text{ }\mu\text{m}$ oraz na piaście i pierścieniu dolnym wirnika oraz ścianie komory wirnika turbiny $Ra \leq 5,0\text{ }\mu\text{m}$ dostrzegalne gołym okiem nie powinny być wyczuwalne w dotyku.

Dane o wynikach kontroli powierzchni po naprawie uszkodzeń kawitacyjnych II typu należy odnotować w karcie technologicznej naprawy danego elementu turbiny i potwierdzić je podpisem kontrolera.

Przy kontroli powierzchni napawanych sprawdza się jakość każdej warstwy napoiny po oczyszczeniu z żużla za pomocą młotka spawalniczego i szczotki z drutów stalowych do błyszczącego metalu. Przy oględzinach zewnętrznych poszukuje się makroskopowych wad zewnętrznych napoiny, jak przyklejenia międzysciegowe i brzegowe, pęknięcia, nierówności lica /niewłaściwy układ łusek i ściegów, powodujący poprzeczne lub wzdłużne wgłębienia i wypukłości/, podtopienie lica, otwarte pęcherze, wtrącenia żużla, niewypełnione kratery w zakończeniach ściegów, próg lica, nadmierny nadlew lica, nawis lica, rozlew lica, ślady zajarzenia łuku i rozpryski wg PN-75/M-69703. Należy ustalić przyczyny ujawnionych wad [18], aby skorygować odpowiednio pracę spawacza przy układaniu następnej warstwy napoiny. Niedopuszczalne są przyklejenia, pęknięcia, podtopienia i nawisy lica, które należy wyciąć wycinakiem pneumatycznym i zaspawać. Rozryski i ślady zajarzenia łuku należy usunąć przez zeszlifowanie. Nie wolno usuwać wad przez młotkowanie lub przetapianie łukiem elektrycznym.

W miejscach wątpliwych, podejrzanych o istnienie przyklejeń lub pęknięć, można przeprowadzić badania penetracyjne. Po dokładnym oczyszczeniu, odłuszczeniu i wysuszeniu badanej powierzchni nanosi się na nią za pomocą pędzla penetrant czerwony, który na zasadzie włoskowatości wchodzi w pęknięcia i przyklejenia, usuwa z powierzchni resztki penetrantu czerwonego szmatą zmoczoną wodą lub rozpuszczalnikiem, a następnie na badane miejsce nanosi się szybko schnący biały wywoływacz, który wyciąga z pęknięć i przyklejeń czerwony penetrant i na białym tle pokazuje czerwoną linię pęknięcia lub przyklejenia. Badanie to jest kłopotliwe ponieważ wymaga wyszlifowania podejrzanego miejsca i nie wykrywa klasycznych przyklejeń /praktycznie bez szczeliny/. Dlatego prościej jest miejsca podejrzone o pęknięcia lub przyklejenia, bez upewnienia się badaniami penetracyjnymi, wyciąć wycinakiem pneumatycznym i zaspawać.

Dane dotyczące ujawnionych wad w każdej warstwie napoiny, jak i po zakończeniu napawania i sposobu ich usunięcia należy odnotować w karcie technologicznej naprawy danego elementu turbiny i potwierdzić je podpisem spawacza.

Kontrola naprawy uszkodzeń kawitacyjnych przez platerowanie polega na sprawdzeniu przylegania blach wykładziny do podłoża.

Obecność wybrzuszeń na odcinkach plateru lub wystąpienie głuchych dźwięków przy ostukiwaniu blach świadczy o braku przylegania wykładziny do podłoża. Sprawdza się też, czy w wykładzynie nie występują pęknięcia oraz jakość spoin łączących odcinki plateru z podłożem. Stwierdzone wybrzuszenia można usunąć przez jednostronne nagrzanie blachy w środku wybrzuszenia do temperatury ok. 700°C lub przez wywiercenie w środku wybrzuszenia otworu, dociśnięcie obrzeży otworu do podłoża i położenie spoiny otworowej, aż do całkowitego wypełnienia otworu. Pęknięcia w blaszce plateru należy wyciąć wycinakiem pneumatycznym i zaspawać. Podobnie należy wyciąć przecinakiem pneumatycznym przyklejenia, pęknięcia, podtopienia i nawisy lica spoin mocujących blachy plateru do podłoża i ponownie zaspawać.

Dane dotyczące ujawnionych wad blach plateru i spoin łączących blachy plateru z podłożem oraz sposobu ich usunięcia należy odnotować w karcie technologicznej naprawy danego elementu turbiny.

Wady wypełnienia uszkodzeń kawitacyjnych kompozycją epoksydową, jak otwarte pory, wklęsnięcia lica, nadmierne nadlewy lica usuwa się przez uzupełnienie brakującej lub zeszlifowanie nadmiaru kompozycji epoksydowej.

6. Obróbka powierzchni po wypełnieniu ubytków kawitacyjnych i odbiór naprawionych elementów turbiny wodnej

6.1. Obróbka wykańczająca nadlewów wypełnień

Nadlewy napoin, naddatki grubości plateru i spoin łączących go z podłożem oraz nadlewy wypełnień ubytków kawitacyjnych kompozycją epoksydową dla przywrócenia konstrukcyjnego kształtu i jakości powierzchni usuwa się przez pilnikowanie, szlifowanie i polerowanie ręcznymi narzędziami mechanicznymi w sposób i warunkach, jak przy przygotowaniu uszkodzeń kawitacyjnych do naprawy, podanych w rozdziale 4. W wyniku szlifowania wykańczającego uzyskuje się powierzchnię o chropowatości $Ra = 0,63 \pm 0,32 \mu m$, a w wyniku polerowania uzyskuje się powierzchnię o chropowatości $Ra = 0,04 \pm 0,01 \mu m$.

Podobnie, jak przy wycinaniu uszkodzeń kawitacyjnych, także przy obróbce wykańczającej powierzchni po wypełnieniu ubytków kawitacyjnych stosuje się odciażniki ręcznych narzędzi mechanicznych. Podobnie też istnieje możliwość zmechanizowania obróbki wykańczającej ścian komór wirników turbin przez zastosowanie przenośnej wytaczarki lub przyrządów skrawających mocowanych do wirnika turbiny.

Dane o rodzaju obróbki wykańczającej wypełnionych uszkodzeń kawitacyjnych zapisuje się w karcie technologicznej naprawy danego elementu turbiny wodnej i potwierdza podpisem kontrolera.

6.2. Kontrola jakości naprawy po obróbce wykańczającej

Po zakończeniu obróbki wykańczającej wypełnionych uszkodzeń kawitacyjnych należy uzyskane powierzchnie przedmuchać sprężonym powietrzem w celu usunięcia wiórów metalowych i cząstek ściernicy oraz ewentualnie przemyć rozpuszczalnikiem dla usunięcia pozostałości pasty polerskiej, a następnie dokładnie przegłądać, aby upewnić się, czy całkowicie wypełniono ubytki kawitacyjne i czy uzyskana powierzchnia ma odpowiednią jakość, czy pozbawiona jest wad. Osobne zagadnienie stanowi kontrola kształ-

tu i położenia naprawionych elementów turbin wodnych, a w przypadku wirników turbin także kontrola stanu wyrównoważenia wirników. Kontrolę tę przeprowadza się indywidualnie dla poszczególnych elementów turbin wodnych.

Przy oględzinach poszukuje się makroskopowych wad napoiny, jak przyklejenia międzysciegowe i brzegowe, pęknięcia, podtopienia lica, otwarte pęcherze, wtrącenia żużla, niewypełnione krater w zakończeniach ściegów licowych, ślady zajarzenia łuku i rozpryski wg PN-75/M-69703. Niedopuszczalne są przyklejenia, pęknięcia, podtopienia, wtrącenia żużla i niewypełnione krater w zakończeniach ściegów, które należy wyciąć wycinakiem pneumatycznym, zaspawać elektrodą EN 10-10B o średnicy 3,25 mm i ponownie obrobić wykańczająco. Rozpryski i ślady zajarzenia łuku należy usunąć przez zeszlifowanie. Otwarte pęcherze, jeżeli nie tworzą skupisk, można pozostawić bez naprawy lub po odtłuszczeniu wypełnić kompozycją epoksydową. Nie wolno usuwać wad przez młotkowanie lub przetapianie łukiem elektrycznym.

W miejscach wątpliwych, podejrzanych o obecność pęknięcia, można przeprowadzić badania penetracyjne. Po odtłuszczeniu i osuszeniu na badaną powierzchnię nanosi się przy pomocy pędzla penetrant czerwony, który na zasadzie włoskowatości wchodzi w pęknięcie. Resztki penetrantu usuwa się z powierzchni szmatą zmaczaną w wodzie lub rozpuszczalniku, a następnie na badaną powierzchnię nanosi się pędzlem szybko schnący biały wywoływacz, który wyciąga z pęknięcia czerwony penetrant i na białym tle pokazuje czerwoną linię pęknięcia.

Większość prac kontrolnych po wypełnieniu ubytków kawitacyjnych przez platerowanie wykonuje się przed obróbką wykańczającą. Po obróbce wykańczającej tak naprawionych uszkodzeń kawitacyjnych sprawdza się głównie spoiny łączące odcinki plateru między sobą i z podłożem, ponieważ obróbka wykańczająca mogła w nich ujawnić pęknięcia, otwarte pęcherze, wtrącenia żużla i niewypełnienie kraterów w zakończeniach ściegów licowych. Ujawnione pęknięcia, wtrącenia żużla i niewypełnione krater należy wyciąć, zaspawać i ponownie obrobić wykańczająco. Otwarte pęcherze, jeżeli nie tworzą skupisk, można pozostawić bez naprawy lub po odtłuszczeniu wypełnić kompozycją epoksydową. Pęcherze tworzące skupienia należy wyciąć, zaspawać i ponownie obrobić wykańcza-

jąco. Do zaspawania stosuje się elektrodę EN 10-10B o średnicy 3,25 mm.

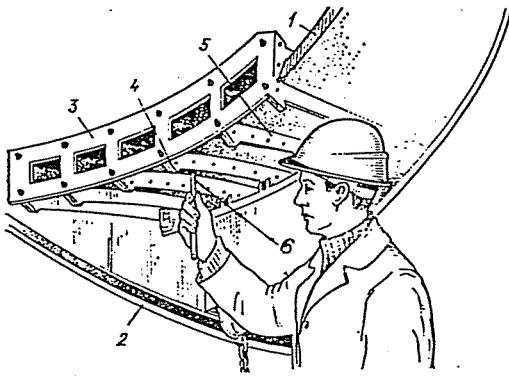
Braki wypełnienia uszkodzeń kawitacyjnych kompozycją epoksydową uzupełnia się tą kompozycją i ponownie obrabia wykańczająco.

Dane dotyczące wad wypełnienia uszkodzeń kawitacyjnych napoiną, platerem lub kompozycją epoksydową, ujawnionych po obróbce wykańczającej i sposobu ich usunięcia należy odnotować w karcie technologicznej naprawy danego elementu turbiny i potwierdzić je podpisem kontrolera.

Podstawowym sposobem kontroli kształtu elementów turbin wodnych po naprawie uszkodzeń kawitacyjnych jest zastosowanie uprzednio przygotowanych szablonów odzwierciedlających konstrukcyjny kształt danego elementu turbiny w obszarze naprawionych uszkodzeń kawitacyjnych. Szablony takie wykonuje się z blachy ze stopu aluminium lub stali o grubości 2 mm według danych konstrukcji naprawianego elementu turbiny lub uzyskanych bezpośrednio przez przyłożenie szablonu do obrysu elementu turbiny przed naprawą o ile zakres uszkodzeń kawitacyjnych pozwala jeszcze na odwzorowanie konstrukcyjnego kształtu naprawianego elementu turbiny. Szablon taki nie musi odwzorowywać kształtu obrysu naprawianego elementu turbiny lecz tworzyć tylko bazę do pomiaru współrzędnych określonych w dokumentacji punktów na powierzchni naprawianego elementu turbiny. Przykład takiego szablonu do pomiaru kształtu górnej i dolnej powierzchni łopat wirnika turbiny Francisa w pobliżu jej krawędzi wylotowej pokazano na rys.35. Szablony takie są użyteczne nie tylko przy kontroli kształtu elementu turbiny po obróbkę wykańczającą naprawionych uszkodzeń kawitacyjnych, ale też do określenia grubości nadatków wypełnień uszkodzeń kawitacyjnych i bieżącej kontroli ich usuwania przy obróbce wykańczającej wypełnionych ubytków kawitacyjnych.

Szablon mocuje się do łopaty przyjmując za bazę krawędź wylotową łopaty wirnika /1/ i wienice dolny wirnika /2/. Do ścian szablony prostopadłe do krawędzi wylotowej łopaty wirnika /3/ mocuje się śrubami dwa rzędy listw /4/, od strony górnej i od strony dolnej łopaty wirnika, w których na określonych odległościach od wieńca dolnego wirnika /2/, w równych odstępach, mocuje się zaciski dystansowe listw /5/, przy których od górnej i dol-

nej strony łopaty wirnika przed jej naprawą mierzy się głębokościomierzem /6/ pionowe odległości krawędzi listw szablonu od powierzchni łopaty, odwzorowujące konstrukcyjny kształt i grubość łopaty w tych miejscach. Pomiary takie przeprowadzane po naprawianiu uszkodzeń kawitacyjnych łopaty pozwalają określić grubość materiału niezbędną do usunięcia, spowodowaną nadlewem napoiu lub odkształceniem spawalniczym łopaty, aby przywrócić projektowy przekrój kanału przepływowego turbiny. Po raz trzeci pomiary takie przeprowadza się przy kontroli kształtu kanałów przepływowych wirnika turbiny po obróbce wykańczającej wypełnionych ubytków kawitacyjnych na łopatach i wieńcu dolnym wirnika turbiny.



Rys.35. Przestrzenny szablon stosowany dla odtworzenia kształtu i grubości łopat wirnika turbiny Francis a 1-krawędź wylotowa łopaty wirnika turbiny, 2-wieniec dolny wirnika turbiny, 3-ściana szablonu prostopadła do krawędzi wylotowej łopaty wirnika turbiny, 4-listwy szablonu, 5-zaciski dystansowe, 6-głębokościomierz

Przy sprawdzaniu kształtu łopat wirnika turbiny Kaplana /rys.15 i tabl.11/ wykorzystuje się szablon podobny do przedstawionego na rys.35, którego pionowa ściana bazowana jest na ścianie komory wirnika i krawędzi zewnętrznej łopaty wirnika. Ściana ta jest wygięta na promieniu R zewnętrznej krawędzi łopaty wirnika. Listwy szablonu, umieszczone parami od górnej i dolnej strony łopaty, są wygięte kolejno promieniami $0,9R$; $0,8R$; $0,7R$ i $0,6R$ łopaty wirnika. Pary listew /dolna i górna/, wygięte na ten sam promień,

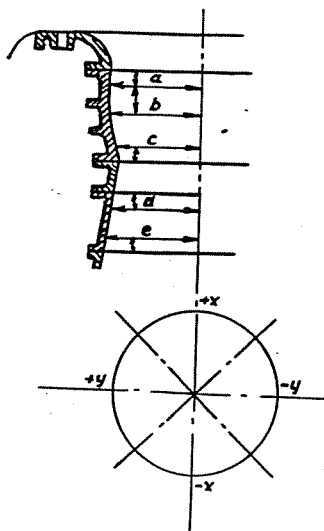
mogą być z sobą połączone śrubami poza krawędziami wlotową i wylotową łopaty. Listwy są połączone z pionową ścianą szablonu za pomocą rozmieszczonych od dołu i góry łopaty sworzni dystansowych. Głębokościomierzem mierzy się w określonych w dokumentacji punktach pionowe odległości krawędzi listew szablonu od powierzchni łopaty z dołu i góry łopaty. Pomiary te odwzorowują konstrukcyjny kształt i grubość łopaty, wyznaczają grubość materiału niezbędną do usunięcia spowodowaną nadlewem napoiny lub odkształceniem spawalniczym łopaty, aby przywrócić projektowy kształt i grubość łopaty, służą do bieżącej kontroli usuwania naddatków materiału łopaty oraz do kontroli kształtu i grubości łopaty po obróbce wykańczającej napawanych uszkodzeń kawitacyjnych łopaty wirnika turbiny Kaplana.

W przypadkach naprawy uszkodzeń kawitacyjnych występujących na zewnętrznych krawędziach łopat wirnika turbiny Kaplana, dla upewnienia się o poprawności wymiarów i kształtu zewnętrznych krawędzi łopat wirnika mierzy się rozwartość szczeliny między ścianą komory wirnika i krawędziami zewnętrznymi łopat wirnika w sposób opisany w rozdziale 3, a uzyskane wyniki zapisuje się w tabl.11.

Profil kształtowej komory wirnika turbiny Kaplana sprawdza się za pomocą szablonu pionowego i 3 szablonów poziomych odwzorujących łuki ściany komory wirnika turbiny w obrębie sektora pomiarowego na szerokości pasa uszkodzeń przed naprawą. Miejscowe odchylenia od konstrukcyjnego kształtu ściany komory wirnika nie powinny przekraczać ± 1 mm.

Dla sprawdzenia odchyłek kołowości komory wirnika turbiny w komorze naciągga się strunę ustawioną dokładnie w osi wirnika turbiny /wirnik turbiny wyjęty/. Średnicówką mierzy się odległości ściany komory wirnika od struny w trzech poziomach na wysokości komory, na całym obwodzie komory, co 45° , a uzyskane wyniki pomiarów zapisuje się w tabl.16. Pomierzony promień komory wirnika nie powinien się różnić więcej niż o ± 2 mm od promienia konstrukcyjnego uzyskanego przy montażu turbiny. Przesunięcie osi komory wirnika względem pionowej osi fundamentu turbiny lub względem osi rury ssącej nie powinno przekraczać 4 mm. Odchyłka kołowości komory wirnika mierzona w płaszczyznach pomiarowych na wysokości komory /tabl.16/ nie powinna przekraczać 1 mm.

Tabela 16. Protokół pomiarów komory wirnika i stożkowej części rury ssącej turbiny Kaplana



Osie pomiarów		+y	+y+x	+x	+x-y	-y	-y-x	-x	-x+y
Wymiary, mm									
Komora wirnika	a								
	b								
	c								
Stożkowa część rury ssącej	d								
	e								

Pomiary przeprowadził
/Nazwisko i Imię, data, podpis/

Pomiary sprawdził
/Nazwisko i Imię, data, podpis/

Stosunkowo prosty szablon służy do kontroli kształtu łopaty kierownicy turbiny. Jest to dwudzielny, łączony w końcach śrubami, szablon bazowany na krawędzi wlotowej łopaty i pierścieniu dolnym kierownicy, obejmujący poziomy przekrój poprzeczny łopaty. Przekrój ten jest jednakowy na całej wysokości łopaty. Za pomocą głębokościomierza mierzy się w poziomie odległość krawędzi szablonu od powierzchni łopaty w określonych punktach obrysu przekroju poprzecznego łopaty. Pomiary te odwzorowują konstrukcyjny kształt i miejscową grubość łopaty, wyznaczają naddatki materiału do usunięcia, służą do bieżącej kontroli usuwania naddatków materiału oraz kontroli kształtu i grubości łopaty po obróbce wykańczającej napawanych uszkodzeń kawitacyjnych łopaty kierownicy turbiny.

Po wykańczającej obróbce napawanych uszkodzeń kawitacyjnych dla upewnienia się o braku odkształceń spawalniczych naprawionych łopat kierownicy o niedopuszczalnych wartościach mierzy się rozwartość szczelin pomiędzy czołowymi powierzchniami łopaty kierownicy i powierzchniami czołowymi górnego i dolnego pierścienia kierownicy. Pomiary wykonuje się w miejscach wskazanych w dokumentacji technicznej turbiny, przedstawionych w rozdziale 3 / tabl. 8 /. Przeprowadza się też pomiary rozwartości szczelin międzyłopatkowych kierownicy w miejscach wskazanych w dokumentacji technicznej turbiny, przedstawionych w rozdziale 3 / tabl. 9 /.

Wyniki pomiarów kontroli kształtu i grubości naprawionych elementów turbin wodnych zapisuje się w protokołach, załączonych do kart technologicznych naprawy poszczególnych elementów turbin i potwierdza podpisem kontrolera. Protokoły te przedstawia się komisji odbierającej naprawę turbiny wodnej.

Wirniki turbin wodnych naprawiane napawaniem przy dużym niesymetrycznym rozmieszczeniu napoin mogą utracić wyrównowazenie i dlatego powinny być wyważone statycznie. Jeżeli w wirniku turbiny Kaplana zakłada się nową łopatę różniącą się w sposób istotny swym ciężarem oraz rozmieszczeniem masy od łopaty usuniętej, to również wirnik należy wyważyć statycznie bez wyjmowania z turbiny. Technikę wyważania statycznego wirników turbin Francisa i Kaplana, stosowne obliczenia oraz kryteria dopuszczalnego niewyważenia podaje literatura specjalistyczna [3]. W dotychczasowej praktyce napraw uszkodzeń kawitacyjnych turbin wodnych w kraju nie odnotowano potrzeby przeprowadzenia statycznego wyważania wirników turbin w elektrowniach wodnych.

6.3. Odbiór naprawionych elementów turbin wodnych

Po ukończeniu naprawy uszkodzeń kawitacyjnych turbiny wodnej kierownik prac sporządza sprawozdanie techniczne naprawy, które dla personelu eksploatacyjnego elektrowni wodnej stanowi składową część metryki hydrozespołu. Techniczne sprawozdanie z naprawy powinno zawierać:

- 1/ Wykaz zakresu prac naprawczych wraz z techniczną charakterystyką stanu elementów turbiny przed i po naprawie.
- 2/ Protokoły pomiarów odzwierciedlające rzeczywiste dane o stanie naprawianych elementów turbiny przed i po naprawie, w tym, zależnie od zakresu prac i typu turbiny:
 - protokoły pomiarów kształtu i grubości łopat wirnika turbiny Francisza,
 - protokoły pomiarów kształtu i grubości łopat wirnika turbiny Kaplana,
 - protokół pomiarów rozwartości szczelin między ścianą komory i krawędziami zewnętrznymi łopat wirnika turbiny Kaplana,
 - protokół pomiarów komory wirnika turbiny Kaplana,
 - protokół pomiarów rozwartości szczelin między czołowymi powierzchniami łopat i pierścieni kierownicy,
 - protokół pomiarów rozwartości szczelin międzyłopatkowych kierownicy.
- 3/ Karty technologiczne naprawy uszkodzeń kawitacyjnych poszczególnych elementów turbiny wodnej.
- 4/ Analizę wykonanej naprawy z wykazem wykrytych w turbinie wad, które należy usunąć przy następnej naprawie oraz wykonawczym harmonogramem naprawy.

Po zapoznaniu się ze sprawozdaniem i wrywkowym sprawdzeniu zawartych w nim danych komisja odbioru turbiny z naprawy przeprowadza próbę pracy hydrozespołu, z której sporządza protokół.

Przyjęte sprawozdanie z naprawy oraz protokół próby pracy hydrozespołu po naprawie stanowią podstawę do sporządzenia aktu odbioru turbiny z naprawy. W akcie tym podaje się ogólne dane dotyczące pracy turbiny przed naprawą, czasu pracy turbiny od poprzedniej naprawy, jakości naprawy oraz wskaźników działania poszczególnych naprawianych elementów turbiny i turbiny, jako całości.

7. Bezpieczeństwo i higiena pracy przy naprawie uszkodzeń kawitacyjnych turbin wodnych

Naprawy uszkodzeń kawitacyjnych są prowadzone głównie bez demontażu turbiny, bezpośrednio w jej kanałach przepływowych. Prace wewnątrz turbiny wodnej zalicza się do prac wykonywanych w warunkach szczególnego zagrożenia dla zdrowia i życia ludzi.

Nadzór i odpowiedzialność za bezpieczeństwo i higienę sprawuje kierownik robót [5].

7.1. Bezpieczeństwo i higiena pracy przy przygotowaniu miejsca naprawy

7.1.1. Przed dopuszczeniem do pracy w turbinie personel remontowy powinien być zaznajomiony z przepisami bezpieczeństwa i higieny pracy, natomiast kierownik robót powinien sprawdzić wiadomości personelu i wydać odpowiednie zarządzenia [6].

7.1.2. Przed rozpoczęciem naprawy spiralą turbiny, komora wirnika i rura ssąca powinny być odwodnione, a dopływ wody górnej powinien być podwójnie odcięty, tzn. przy pomocy zamknięcia ruchowo-awaryjnego oraz zamknięcia remontowego. Mechanizmy napędu tych zamknięć powinny być zablokowane dla uniemożliwienia przypadkowego otwarcia. Na czas wykonywania prac w turbinie na mechanizmach napędu zamknięć dopływu wody tj. stawidłach, zasuwach, zaworach i kierownicy należy wywiesić tablicę z napisem ostrzegawczym "Nie włączać" [5].

W przypadku, gdy istniejące rozwiązanie konstrukcyjne uniemożliwia zastosowanie podwójnego odcięcia wody należy zachować specjalne środki ostrożności i zastosować dodatkowe zabezpieczenia zamknięć ruchowo-awaryjnych przed otwarciem.

Dla usuwania przeciekającej wody powinny być zainstalowane sprawnie działające urządzenia odpompowujące.

7.1.3. Przed rozpoczęciem naprawy turbina powinna być zabezpieczona przed automatycznym i przypadkowym uruchomieniem.

7.1.4. Do prowadzenia prac w komorze wirnika turbiny należy przy-

gotować szczelny pomost przystający do ścian komory lub zaopatrzo-
ny w deskę burtową o wysokości min 18 cm i poręczę o wysokości
min 1 m, umożliwiające bezpieczną pracę ludzi. Nie wolno dopusz-
czać do skupiania się ludzi i obciążania pomostu ciężarem prze-
kraczającym przyjęte obciążenie [3]

Pomost powinien być sprawdzony i przyjęty przez Kierownika
robót. Stan pomostu powinien być w czasie naprawy codziennie
sprawdzany, a ujawnione wady powinny być bez zwłoki usuwane.

7.1.5. W miejscach pracy należy założyć ogrodzenia i osłony sto-
sownie do potrzeb. Miejsca pracy, po których porusza się perso-
nel ruchowy i remontowy nie powinny posiadać śliskich powierzchni
i powinny być dobrze oświetlone ręcznymi lampami przenośnymi,
zasilanymi z sieci o napięciu 24 V. Stałe jak i przenośne oświet-
lenie niskiego napięcia powinni zakładać i naprawiać tylko upraw-
nieni elektromonterzy. Gniazda wtykowe oświetleniowe powinny być
umieszczone przy stanowiskach pracy wewnątrz turbiny.

7.1.6. Do prowadzenia prac należy zapewnić wystarczająco wydajne
wentylację i ogrzewanie spirali turbiny, komory wirnika turbiny
i przylegającej do komory części rury ssącej. Najlepiej jest sto-
sować wentylację tłoczno-wyciągową z doprowadzeniem świeżego, pod-
grzanego powietrza giętkimi przewodami bezpośrednio do strefy od-
dychania zatrudnionych pracowników.

7.2. Bezpieczeństwo i higiena pracy przy przygotowaniu uszko- dzeń do naprawy.

7.2.1. W miejscu naprawy lub w siłowni w pobliżu wjazdu do komory
wirnika lub spirali turbiny powinny znajdować się w dobrym stanie
narzędzia ręczne i ręczne narzędzia mechaniczne z napędem elek-
trycznym lub pneumatycznym /wiertła, przecinaki, wycinaki, młot-
ki 0,5 kg, pilniki ściernice, tarcze polerskie, pasta polerska,
ręczne wiertarki mechaniczne proste i kątowe, ręczne szlifierki
mechaniczne, sprężarka powietrza 0,6-1,0 MPa, węże gumowe do sprę-
żonego powietrza z przyłączami i wyłącznikami, źródła prądu sta-
łego do spawania o zakresie nastaw prądu spawania 80-630 A, prze-
wody prądu spawania z uchwytyami spawalniczymi i zaciskami, środ-

ki ochrony osobistej spawaczy /maski spawalnicze, okulary spawalnicze, rękawice, buty, fartuchy i chodniki dielektryczne/ oraz środki ochrony osobistej pracowników zatrudnionych przy mechanicznym wycinaniu uszkodzeń kawitacyjnych /okulary ochronne, nauszники/. Narzędzia elektryczne powinny być wykonane w II klasie ochronności, z podwójną izolacją, dzięki czemu nie wymagają uzziemiania /PN-74/E-06251/.

7.2.2. Robotnicy posługujący się narzędziami elektrycznymi powinni być zaznajomieni z bezpiecznymi metodami pracy, ze środkami ochrony oraz sposobami udzielania pomocy w przypadkach porażenia prądem elektrycznym. Przy pracy narzędziami elektrycznymi robotnicy powinni być wyposażeni w gumowe rękawice i kalosze. Gniazda wtykowe i wyłączniki sieci siłowej powinny być osłonięte i umieszczone bezpośrednio przy stanowiskach roboczych wewnątrz turbiny.

7.2.3. Robotnicy posługujący się narzędziami pneumatycznymi lub stosujący sprężone powietrze do czyszczenia wycinanych obszarów uszkodzeń kawitacyjnych powinni być odpowiednio przyuczeni i wyposażeni w okulary ochronne i ochraniacze słuchu. Przyłącza i wyłączniki sieci sprężonego powietrza powinny znajdować się bezpośrednio przy stanowiskach roboczych wewnątrz turbiny. Węże gumowe, którymi dopływa sprężone powietrze do narzędzi wolno przyłączać i odłączać tylko po zamknięciu dopływu powietrza. Posługiwanie się narzędziami pneumatycznymi przy pracy na drabinach jest niedozwolone [3].

7.2.4. Przy żłobieniu elektropowietrznym elektrodami węglowymi głównymi zagrożeniami są: prąd w obwodzie żłobienia, promieniowanie świetlne i ciepłe łuku, rozprysk ciekłego metalu oraz dymy i gazy jako produkty spalania elektrody i metalu. Dlatego pracownik powinien stosować środki ochrony osobistej przewidziane dla spawacza elektrycznego

Spawarka powinna być umieszczona na zewnątrz turbiny, czyli musi być przystosowana do spawania przy dużych odległościach od spawarki. Spawarka powinna być obsługiwana przez pomocnika spawacza. Napięcie biegu jałowego spawarki nie powinno przekraczać 80 V dla prądu stałego oraz 35 V dla prądu przemiennego [18].

Elektrody należy wkładać w uchwyt po uprzednim wyłączeniu spawarki. Wyłącznik zasilania spawarki powinien być umieszczony na

uchwycie elektrody lub w innym dogodnym miejscu znajdującym się w zasięgu ręki spawacza.

Przy przerwaniu pracy spawacz po wyłączeniu spawarki powinien wyjąć elektrodę z uchwytu, natomiast uchwyt można pozostawić w turbinie pod warunkiem umieszczenia go w sposób wykluczający zwarcie metalowych elementów uchwytu ze spawaną częścią turbiny.

Stanowisko robocze powinno być osłonięte dla ukrycia łuku elektrycznego i zapobieżenia rozprzestrzeniania się rozprysków metalu i gazów spawalniczych [18].

Wentylacja ogólna powinna zapewniać co najmniej czterokrotną wymianę powietrza w ciągu godziny. Prędkość przepływu powietrza na wysokości spawacza nie powinna przekraczać 24 m/min, aby nie wytwarzać przeciągu. Powietrze nawiewane powinno być podgrzane do temperatury 12-15°C. Jeżeli zastosowano wentylację stanowiskową ruchomymi ssawkami, to prędkość przepływu powietrza powinna wynosić 30-60 m/min. Kierunek odciągania powietrza powinien wykluczać przenoszenie się zanieczyszczeń do strefy oddychania spawacza.

7.2.5. Miejsca wycinania zerodowanego metalu powinny posiadać indywidualne odciągi niezawodnie działającej wentylacji wyciągowej.

7.3. Bezpieczeństwo i higiena pracy przy naprawie uszkodzeń

7.3.1. Przy naprawie uszkodzeń kawitacyjnych za pomocą szlifowania wykańczającego i polerowania mają zastosowanie wymagania bezpieczeństwa i higieny pracy podane w pkt.7.2.1 i 7.2.5 przy pracy narzędziami elektrycznymi lub w pkt.7.2.3 i 7.2.5 przy pracy narzędziami pneumatycznymi.

7.3.2. Przy ręcznym napawaniu łukowym elektrodami otulonymi głównymi zagrożeniami są: prąd w obwodzie napawania, promieniowanie świetlne i ciepłe łuku, rozprysk ciekłego metalu oraz dymy i gazy jako produkty topienia się i spalania otuliny elektrody i metalu. Dlatego pracownik powinien stosować środki ochrony osobistej przewidziane dla spawacza elektrycznego, a stanowisko robocze powinno spełniać wymagania podane w pkt.7.2.4.

Minimalna objętość powietrza usuwanego z miejsc napawania wewnątrz turbiny wodnej powinna wynosić 2000-2500 m³ na 1 kg zużytych elektrod. Prędkość odciągania powietrza z obszaru roboczego powinna wynosić min 30 m/min.

7.3.3. Przy półautomatycznym napawaniu łukowym w gazach ochronnych /MAG/ głównymi zagrożeniami są: prąd w obwodzie napawania, promieniowanie świetlne i ciepłe łuku, rozprysk ciekłego metalu oraz gazy i dymy pochodzące z topienia i spalania się metalu oraz osłony gazowej łuku. Dlatego pracownik powinien stosować środki ochrony osobistej przewidziane dla spawacza elektrycznego o zwiększonej zdolności ochronnej, a stanowisko robocze powinno spełniać wymagania podane w pkt.7.2.4.

Przy półautomatycznym spawaniu łukowym w gazach ochronnych należy pamiętać, że pod napięciem znajduje się nie tylko koniec drutu elektrodowego wychodzący z uchwytu spawalniczego, lecz także cały nawój drutu /zapas/ znajdujący się na szpuli. W urządzeniach do spawania elektrodą topliwą szpula musi więc być przykryta.

Ze względu na 10-20 razy intensywniejsze promieniowanie łuku niż przy ręcznym spawaniu łukowym elektrodą otuloną przy napawaniu w osłonie gazów ochronnych należy lepiej chronić spawacza przed urazami. Oczy powinny być chronione ciemnymi szklami okularów o stopniu ochrony dobranym do natężenia prądu spawania /PN-66/Z-53202/. Głowę najlepiej chronić hełmem spawalniczym z tworzywa sztucznego. Przy silnym promieniowaniu nadfioletowym już w krótkim czasie użytkowania tkaniny tekstylne stają się kruche. Dlatego spawacz spawający w osłonie gazów ochronnych powinien zakładać ubiór skórzany z rękawicami o dużych mankietach szczelnie chroniący ciało. Szkodliwe jest nie tylko bezpośrednie promieniowanie lecz również promieniowanie odbite. Dlatego spawacz pracujący w ciasnych kanałach przepływowych turbiny wodnej musi osłaniać całe ciało [18].

Najlepsze efekty miejscowej wentylacji można uzyskać przy stosowaniu specjalnych uchwytów spawalniczych z osadzonymi na nich odciągami gazów i dymów bezpośrednio ze strefy spawania.

Przed rozpoczęciem pracy komora wirnika turbiny wodnej powinna być dobrze przewietrzona w czasie 10-15 minut przy stosowaniu sztucznego ciągu $1000 \text{ m}^3/\text{godz.}$, po czym zezwala się na wejście spawaczy.

Jeżeli za pomocą wentylacji ogólnej i miejscowej nie można zapewnić obniżenia stężenia pyłów i gazów w strefie oddychania spawacza do dopuszczalnych wartości, to spawacz powinien stosować środki ochrony indywidualnej /pochłaniacze, maski z podawaniem sprężonego powietrza itp./

Po 45 minutach napawania w turbinie spawacz powinien pracę przerwać i wyjść z turbiny na 15 minut w celu dotlenienia organizmu. Aby przerwy te spełniały swoje zadanie nie należy ich komasować. Dopilnowanie przyznanych przerw w pracy jest obowiązkiem kierownika robót-mistrza.

Przy pracach spawalniczych prowadzonych wewnątrz turbiny, na zewnątrz, przy włączu do komory wirnika turbiny powinien znajdować się specjalny obserwator, który obserwuje prawidłowość wentylacji, przestrzeganie technologii spawania, stosowanie środków ochrony osobistej i utrzymuje łączność ze spawaczem, a w przypadkach koniecznych udziela odpowiedniej pomocy.

7.4. Bezpieczeństwo i higiena pracy przy kontroli i odbiorze naprawionych elementów turbiny

7.4.1. We wszystkich etapach naprawy uszkodzeń kawitacyjnych elementów turbin wodnych należy prowadzić stałą kontrolę jakości prac poczynając od kontroli dokładności obróbki pod napawanie, jakości powierzchni pod napawanie, technologii napawania, jakości uzyskiwanych warstw napawanych, jakości obróbki mechanicznej napoin i stanu odkształceń spawalniczych naprawionych elementów turbin. Ze względu na różnorodność kontrolowanych prac różne będą też wymagania bezpieczeństwa i higieny pracy kontrolerów. Przy kontroli technologii wykonania prac będą one takie, jak dla wykonawców prac. Przy odbiorach będą takie, jak dla wykonawców oględzin i pomiarów prowadzonych wewnątrz turbiny.

7.4.2. Przy kontroli wymiarów długości i kąta należy posługiwać się miarami taśmowymi, głębokościomierzami suwmiarkowymi i kątomierzami uniwersalnymi, przechowywanymi w futerałach, oczyszczonymi ze smaru konserwującego i ewentualnych pozostałości po obróbce mierzonych powierzchni, okresowo legalizowanymi w laboratorium działu kontroli jakości [29].

7.4.3. Kontrolowane miejsca powinny być dobrze oświetlone. Przy odczytywaniu wymiaru należy patrzeć na skalę przyrządu prostopadle, aby uniknąć odblasków. Z tego względu naleca się stosowanie przyrządów pomiarowych z podziałką na matowym tle.

Literatura

- [1] Dziubiński J., Klimpel A.: Napawanie i natryskiwanie cieplne. WNT. Warszawa 1985.
- [2] Esab welding handbook. Filler materials for manual and automatic welding. Fourth edition. Gøteborg 1986.
- [3] Fiterman J.: Montaż i remont turbin wodnych. Tłum. z ros. PWT. Warszawa 1956.
- [4] Instrukcja o gospodarce remontowej i utrzymaniu środków trwałych w elektrowniach i elektrociepłowniach. Instytut Energetyki. Warszawa 1975.
- [5] Instrukcja o gospodarce remontowej w elektrowniach, elektrociepłowniach i ciepłowniach zawodowych. Ministerstwo Górnictwa i Energetyki. Warszawa 1985.
- [6] Instrukcja szczegółowa BHP remontu urządzeń cieplno-mechanicznych. Zakład Remontowy Energetyki. Gdańsk 1975.
- [7] Instrukcja stanowiskowa napraw kawitacyjnych turbin wodnych. MR-93/76. Zakład Remontowy Energetyki. Gdańsk 1976.
- [8] Kolago M.: Opracowanie technologii napraw pokawitacyjnych turbin Kaplana i maszyn odwracalnych. ITMMiS PG. Gdańsk 1988.
- [9] Kowalski A., Zaczek Z.: Technologia remontu siłowni okrętowych. Wydawnictwo Morskie. Gdańsk 1973.
- [10] Kowarsch A., Zaczek Z.: Spawanie konstrukcji okrętowych w osłonie gazów. Wydawnictwo Morskie. Gdańsk 1984.
- [11] Krzysztofowicz T.: Zbadanie przebiegu niszczenia tworzyw konstrukcyjnych w różnych warunkach kawitacyjnych w naturze. ITMMiS PG. Gdańsk 1988.
- [12] Krzysztofowicz T.: Naprawy próbne w Elektrowni Wodnej "Żur". ITMMiS PG. Gdańsk 1989.
- [13] Krzysztofowicz T.: Wyniki pierwszych testów kontrolnych dotyczących odporności spoiw na działanie kawitacji oraz ocena pierwszych napraw próbných. ITMMiS PG. Gdańsk 1989.
- [14] Kuciel W.: Bank danych o warunkach uszkodzenia i naprawach pokawitacyjnych w krajowych EW średniej i dużej mocy. Zakłady Pomiarowo-Badawcze Energetyki "Energopomiar". Gdańsk 1988.
- [15] Messer Griesheim. Zusatzwerkstoffe zum Schweissen und Hartlöten. Frankfurt am Main 1978.
- [16] Miličenko S.D.: Remont kawitacyjnych rozrzušenij gidroturbin. Energija. Moskva 1971.

- [17] Obara T.: Opracowanie koncepcji oprzyrządowania do mechanizacji prac remontowych i kontroli poremontowej. Hydromex. Gdańsk 1988.
- [18] Poradnik inżyniera. Spawalnictwo. Tom 1 i 2. WNT. Warszawa 1983.
- [19] Poradnik warsztatowca mechanika. Wyd.VII. WNT. Warszawa 1981.
- [20] Prospekt firmy "Belzona Molecular Metalife". Claro Road. Harrogate HG 14 AY, North Yorks. England 1985.
- [21] Prospekt Rzemieślniczej Spółdzielni Wielobranżowej w Nowym Dworze Mazowieckim. 1986.
- [22] Ramowa instrukcja technologii napraw uszkodzeń kawitacyjnych elementów turbin wodnych i pomp akumulacyjnych. Instytut Energetyki. Warszawa 1980.
- [23] Sitko J., Lorkiewicz M.: Katalog elektrod stalowych produkowanych przez Hutę Baildon. CZWM "Metalzbyt". Bytom 1984.
- [24] Spravočnik po eksploataciji i remontu gidroturbinnogo oborudovanja. Red. E.P.Štern. Energoatomizdat. Moskva 1985.
- [25] Tasak E.: Wpływ żłobienia elektropowietrznego na zmiany struktury i własności strefy wpływu ciepła. Przegląd Spawalnictwa, 1982, nr 5/6.
- [26] Zaczek Z., Krzysztofowicz T.: Wzorcowa dokumentacja technologiczna napraw pokawitacyjnych maszyn odwracalnych i turbin Kaplana. ITMMiS PG. Gdańsk 1990.
- [27] Zaczek Z.: Okrętowy zestaw naprawczy "Robot-2". Wojskowy Przegląd Techniczny, 1969, nr 5.
- [28] Zaczek Z.: Kompozyty epoksydowe w regeneracji maszyn, mechanizmów i rurociągów okrętowych. Technika i Gospodarka Morska, 1984, nr 7/8.
- [29] Zbiór zasad eksploatacji w energetyce zawodowej. Część IV. Elektrownie Wodne. Ministerstwo Energetyki i Energii Atomowej. Warszawa 1977.

