

Maria Magdalena ŻMUDA-SROKA

Instytut Pojazdów Szynowych
Politechnika Krakowska

STOPY AL JAKO MATERIAŁY NA ELEMENTY BIEGOWE POJAZDÓW SZYNOWYCH W ŚWIETLE PROWADZONYCH BADAŃ

Streszczenie. W pracy omówiono dobór stopów Al na elementy zestawu kołowego na podstawie kryterium wytrzymałościowego. Kryterium to oparte na warunkach pracy zestawu, było podstawą programu badań wytypowanych stopów. Opracowanie zakończono wnioskami, wynikającymi z wyników przeprowadzonych doświadczeń.

1. WPROWADZENIE

Jednym z głównych zadań jakie stoją przed nowoczesnym przemysłem budowy taboru szynowego jest produkcja pojazdów przystosowanych do dużych prędkości przy jednoczesnym zapewnieniu właściwego bezpieczeństwa, a także komfortu podróżowania.

Zmniejszenie masy własnej pojazdów prowadzi do uzyskania nadwyżki mocy, którą możemy wykorzystać do zwiększenia prędkości jazdy lub też do przewiezienia dodatkowej masy towarowej. Obniżenie masy pojazdów pozwala również na zwiększenie ich trwałości.

Szczególne znaczenie posiada zmniejszenie masy nieusprężynowanej, która wynosi około 20% całkowitej masy wagonów towarowych i około 10% w przypadku wagonów osobowych.

Zwiększenie trwałości pojazdów oraz torów wiąże się przede wszystkim z dynamicznym oddziaływaniem pojazdu na tor i na odwrot. Oddziaływanie to wzrasta z kwadratem prędkości, rosnąc następnie tak, że przy prędkości 300 km na godzinę, występuje ponad trzykrotne jego zwiększenie [1].

Stosując materiały "lekkie" (o niższej masie właściwej od masy powszechnie stosowanej stali), uzyskujemy zmniejszenie oporów ruchu, zwiększenie przyspieszeń przy rozruchu i hamowaniu, a przy zastosowaniu stopów Al także możliwość częściowej eliminacji korozji, co prowadzi do poważnego obniżenia kosztów eksploatacji.

1. CHARAKTERYSTYKA NAPRĘŻEŃ WYSTĘPUJĄCYCH W ELEMENTACH ZESTAWU KOŁOWEGO

Znajomość warunków pracy zestawu kołowego, a więc działających na jego elementy obciążeń, znalazła odzwierciedlenie w kryterium wytrzymałościowym. Kryterium to opisuje szereg wskaźników wytrzymałościowych związanych z rodzajem i charakterem występujących w rozpatrywanych elementach naprężeń.

Celem scharakteryzowania obciążeń działających na elementy biegowe w czasie ruchu i postoju, poddano analizie klasyczny zestaw wagonu towarowego o kołach obręczowanych i pełnej osi przystosowanej do łożysk tocznych [2].

Działające na zestaw obciążenia, posłużyły przy teoretycznych obliczeniach wartości naprężeń powstających w tarczy kół obręczowanych o założonym kształcie i wymiarach [3], a także w osi [5]. Naprężenia te zostały obliczone z uwzględnieniem obciążeń zewnętrznych, pochodzących od sił poziomych i pionowych, a także nadwyżek dynamicznych, wynikających z nierówności torów, styków szyn, niewyważenia kół, nierówności obręczy i drgań części nieusprężynowanej. Ponadto w obliczeniach wzięto pod uwagę obciążenia quasistatyczne pochodzące od hamowania i sił prowadzących.

Należy także pamiętać, że dodatkową przeszkodą w określeniu rzeczywistego obrazu obciążeń jest losowe występowanie nadwyżek dynamicznych oraz trudności w dokładnym określeniu miejsc ich działania.

Przeprowadzone obliczenia teoretyczne, wg hipotezy wyężeniowej krańcowej energii odkształcenia postaciowego σ_f [3], pozwoliły określić maksymalną wartość naprężenia zastępczego dla koła obręczowanego. Wartość ta dla koła od strony wewnętrznej występuje w przekroju o wartości "r" równej 300 mm (r - odległość rozpatrywanego przekroju koła od osi zestawu, przyjmująca wartości od 150 do 350 mm) i wynosi $\sigma_z = 127,4$ MPa, zaś dla wewnętrznej strony koła $\sigma_z = 193,0$ MPa, przy r = 150 mm.

Analizując wartości naprężeń uzyskanych drogą tensometrowania kół w czasie normalnej eksploatacji [4], a także wartości naprężeń zastępczych obliczonych w oparciu o nie, wg hipotezy wyężeniowej krańcowej energii odkształcenia postaciowego σ_f , widzimy, że rząd wielkości wartości naprężeń maksymalnych występujących w tarczach kół jest zbliżony [3, 4].

Tak przeprowadzona analiza pozwoliła na ustalenie rodzaju i charakteru oraz wartości naprężeń, jakie działają w tarczach kół przy zbliżonych kształtach i wymiarach. Są to naprężenia jednostronnie zmienne, ściskające i zginające.

Równie ważnym, z uwagi na bezpieczeństwo ruchu, elementem zestawu jest oś. Pracuje ona w bardzo trudnych warunkach, przenosząc oprócz wszystkich wspomnianych już sił, także i moment skręcający, będący wynikiem nierówności średnic tocznych kół, a także różnego ustawienia profilu obręczy na głowce szyny.

Bez względu na kształt oraz wymiary osi należy pamiętać o konieczności zachowania wysokiego współczynnika bezpieczeństwa. Dlatego to po licznych badaniach wprowadzono dla osi pojęcie maksymalnych naprężeń dopuszczalnych, różnych dla charakterystycznych jej przekrojów. Takie rozwiązanie zagadnienia było konieczne, gdyż empiryczne metody obliczeniowe uwzględniają tylko siły poprzeczne z pominięciem podłużnych oraz działających wewnątrz osi, a będących wynikiem wciskowego połączenia z piastą koła. Należy pamiętać, że na wartość naprężeń ma również wpływ kształt osi, a szczególnie przejścia pomiędzy średnicami.

Analiza działających na pracującą oś obciążeń, pozwoliła na ustalenie rodzaju i charakteru powstających naprężeń. Są to naprężenia zginające obustronnie zmienne.

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń, a także danych zaczerpniętych z prac [3, 4, 5], określono maksymalną wartość naprężenia zginającego, która wynosi 157 MPa (przejście osi z podpierańca w część środkową).

Wartość momentu skręcającego oś w rozpatrywanym przypadku, w porównaniu z wartością momentu zginającego jest niewielka, dlatego też w przeprowadzonych obliczeniach została pominięta.

Na podstawie dokonanych analiz, a także przeprowadzonych obliczeń możemy stwierdzić, że celem zapewnienia właściwego bezpieczeństwa przez omawiane elementy zestawu kołowego, wytrzymałość materiałów, z których zostaną wykonane, musi zapewnić możliwość przeniesienia naprężeń o wartościach nie niższych od powyżej przytoczonych.

2. DOBÓR MATERIAŁÓW NA ELEMENTY BIEGOWE WG KRYTERIUM WYTRZYMAŁOŚCIOWEGO

Zasadniczy wpływ na dobór materiałów na elementy zestawu kołowego posiadają: warunki pracy, proces wytwarzania oraz czynniki ekonomiczne.

Warunki pracy, to w pierwszym rzędzie działające na zestaw obciążenia. Znalazły one odzwierciedlenie w kryterium wytrzymałościowym. Kryterium to opisuje szereg wskaźników wytrzymałościowych związanych z rodzajem i charakterem występujących w rozpatrywanych elementach naprężeń. Na tej podstawie możemy określić szczegółowy program badań wytrzymałościowych danego tworzywa, a otrzymane wyniki pozwalają na prawidłową ocenę możliwości jego zastosowania. Minimalna wartość poszczególnych wskaźników jest limitowana granicznymi warunkami obciążeń. Do wskaźników tych w przypadku rozpatrywanych elementów - koło obręczowane i oś, zaliczamy:

- wytrzymałość zmęczeniową przy działaniu naprężeń wywołujących obustronne zginanie oraz jednostronnie zmienne zginanie i ściskanie,
- twardość,
- granica peźzania,
- moduł Younga E .

Określenie koniecznych wskaźników wytrzymałościowych jest zależne od rodzaju dobieranego materiału. W przypadku proponowanych stopów Al własności wytrzymałościowe zależą przede wszystkim od pierwiastka podstawowego, który zmienia się w zależności od gatunku stopu, a także od czystości pozostałych składników. Określenie więc wartości wskaźników wytrzymałościowych w funkcji doraźnej wytrzymałości na rozciąganie R_m , można traktować jedynie informacyjnie (daje małe przybliżenie), przeciwnie niż w przypadku stopów żelaza z węglam [5]. Należy także pamiętać, że stopy Al nie posiadają rzeczywistej granicy plastyczności oraz że wykazują tendencje do pełzania pod wpływem przyłożonego obciążenia.

Określenie więc wytrzymałości zmęczeniowej, twardości, granicy pełzania i modułu Young'a, na podstawie doświadczeń jest niemożliwe.

3. BADANIA LABORATORYJNE

3.1. Program badań

Analizując własności wytrzymałościowe krajowych stopów Al do doświadczeń wytypowano stopy: PA4N - AlMg1Si1 oraz K63Cu - AlZn6Mg2Cu wg składu chemicznego podanego przez Instytut Metali Nieżelaznych w Skawinie, wyprodukowane w Zakładach Metali Lekkich w Kętach. Z wlewków, metodą wyciskania wykonano pręty (\varnothing 25 mm, $l = 5000$ mm), przy czym pręty ze stopu K63Cu podzielono na dwie partie, poddając je przesycaaniu i sztuczemu starzeniu w różnych warunkach temperatury i czasu trwania obróbki [5], co pozwoliło uzyskać zróżnicowanie własności mechanicznych stopu.

Program badań laboratoryjnych obejmował określenie:

1) trwałej i ograniczonej wytrzymałości zmęczeniowej dla próbek gładkich i z korbem, wykonanych z prętów ze stopów Al, w próbach:

- obrotowogiętnej, przy założeniach:

$$\sigma_{\max} = -\sigma_{\min} > 0; \mathcal{R} = 0; R = -1,$$

- jednostronnego ściskania o następującej charakterystyce cyklu

$$\sigma_{\min} < \sigma_{\max} < 0;$$

- jednostronnego zginania

$$\sigma_{\max} < \sigma_{\min} < 0; 1 < \mathcal{R} < 0; 0 < R < +1$$

przeprowadzenie

2) statycznej próby rozciągania i wyznaczenie:

- modułu sprężystości podłużnej - Young'a "E",

- granicznej wytrzymałości R_x , przy określonym odkształceniu trwałym,

- wydłużenie A w %,

- przawężenie Z w %.

3) próby twardości,

4) próby pełzania materiałów pod wpływem obciążenia stałego oraz badania uzupełniające, mające na celu:

a) określenie wytrzymałości zmęczeniowej stopów Al w próbie jednostronnego rozciągania, o charakterystyce cyklu:

$$\sigma_{\max} > \sigma_{\min} > 0; \quad 1 < \mathcal{R} < 0; \quad 0 < R < +1.$$

b) wyznaczenie doraznej wytrzymałości na rozciąganie R_m , stałej Poissona μ oraz modułu sprężystości poprzecznej G .

3.2. Metodyka prowadzonych doświadczeń

Określenia trwałej i ograniczonej wytrzymałości zmęczeniowej dokonano na podstawie wyników badań, które przeprowadzono na próbkach wykonanych z prętów, z omówionych stopów Al, drogą obróbki skrawaniem. Kształt i wymiary próbek były podyktowane normami oraz wymaganiami stanowisk badawczych.

Doświadczenia w celu wyznaczenia trwałej i ograniczonej wytrzymałości zmęczeniowej przy obciążeniu czystym momentem gnącym, wywołującym naprężenia obukierunkowo zmienne przeprowadzono na maszynie zmęczeniowej MYN6000, produkcji ZSRR. Próby prowadzono na 6 partiach próbek (każda po 40 sztuk), przy czym jedną połowę stanowiły próbki gładkie, drugą zaś próbki z karbem wykonanym promieniem $r = 1$ mm. Wartość obciążenia maksymalnego przyjęto na podstawie badań wstępnej serii próbek.

Określenia wytrzymałości zmęczeniowej przy jednostronnym ściskaniu dokonano na pulsatorze hydraulicznym - ZDM-20Pu (produkcji NRD), zaś przy jednostronnym zginaniu na maszynie wytrzymałościowej "Instron". Minimalną wymaganą ilość cykli wyznaczono na podstawie średniego rocznego przebiegu wagonu osobowego (dane uzyskane z PDOKP Kraków), z kołami o średnicy kręgu tocznego równej 920 mm. Koło takie wykonuje w ciągu roku $4,5 \cdot 10^7$ obrotów, co jest równoważne z ilością zmian obciążenia.

Celem określenia modułu Young'a przeprowadzono próbę rozciągania z odciążaniem na maszynie wytrzymałościowej "Instron". Moduł Young'a - sprężystości podłużnej, wyznaczono określając w trakcie próby rozciągania dla poszczególnych wielkości obciążeń, spadki linii odciążenia, siecznych i stycznych, a następnie obliczając moduł zerowy E_0 .

Twardość stopów badano metodą Brinella posługując się twardościomierzem typu 3-2 (produkcji krajowej SZMİKL). Wgłębnikiem była kulka stalowa hartowana o średnicy 10 mm i twardości 850 HV. Odcisków (po 25 dla każdego materiału) dokonywano na próbkach mających kształt prostopadłościanów, wykonanych z okrągłych prętów przez frezowanie na żądany wymiar ($20 \times 20 \times 15$ mm). Czas dokonywania pomiarów przyjęto równy 30 s, z uwagi na fakt, że w materiałach miękkich na skutek znacznej ich płynności, wgłębnik wgniata się jeszcze po upływie pewnego czasu (dla stali - $t = 10$ s). Wielkość średnicy odcisków odczytywano za pomocą mikroskopu warsztatowego z dokładnością do 0,01 mm.

Doświadczenia mające określić odporność badanych stopów na pełzanie, przeprowadzono na pełzarni wielopróbkowej Zst 2/3. Maksymalne obciążenie jakie można było zastosować w trakcie badań, wynosiło 11,77 kN. Pełzarka posiada 3 punkty pomiarowe. Dokładność odczytów wynosiła 0,01 mm. Próby orowadzono ze stopem K63Cu - A i B, gdyż stop PA4N był poddawany licznym badaniom reologicznym [6, 7]. Próbkki były obciążane tak, aby maksymalne naprężenie wynosiło odpowiednio 588,6 MPa dla partii A oraz 564 MPa dla B [5]. Naprężenie to zmniejszono następnie o 24,5 MPa, aż do momentu gdy wywołane naprężenie nie powodowało odkształcenie próbkki. Czas trwania próby $t = 10.000$ godz., temperatura 20°C , utrzymywana przez cały okres trwania próby.

Wyniki doświadczeń

Wyniki otrzymane z przeprowadzanych badań opracowano stosując metody statystyki matematycznej.

W efekcie przeprowadzonych badań zmęczeniowych przy obustronnym zginaniu oraz jednostronnym zginaniu próbek ze stopów: PA4N oraz K63Cu A i B, otrzymano dane, które zostały zamieszczone w tablicy 1.

Tablica 1

Wartości wskaźników uzyskane w zmęczeniowej próbie obustronnego i jednostronnego zginania

Lp.	Materiał	Z_{go} w MPa		Z_{gj} w MPa	
		próbki gładkie	próbki z karbem	próbki gładkie	próbki z karbem
1	K63Cu "A"	169,2	115,7	304,0	207,9
2	K63Cu "B"	152,0	96,0	273,7	173,6
3	PA4N	95,6	66,7	171,7	119,7

Badania zmęczeniowe przy działaniu obciążeń ściskających jednostronnie zmiennych, rozpoczęto od doświadczeń ze stopem PA4N - próbki okrągłe o $\varnothing = 15$ mm i $l = 22,5$ mm. W trakcie badania pod wpływem działających obciążeń próbki ulegały odkształceniu. Zwiększenie obciążenia powodowało jedynie znaczne odkształcenie próbkki przy mniejszej ilości cykli. Na przykład przy cyklu o danych: $\sigma_{max} = |55,4|$ MPa; $\sigma_{min} = |388,6|$ MPa; $R = 7$; $\mathcal{K} = 1,33$, po ilości cykli $N = 10^6$, otrzymujemy skrócenie próbkki o 5% oraz zwiększenie średnicy o 2,3%. Badane próbki nie ulegały zniszczeniu. Jednoznaczne określenie trwałej wytrzymałości zmęczeniowej jest więc niemożliwe. Z uwagi na występujące zjawisko odstąpiono od określenia wytrzymałości zmęczeniowej przy jednostronnym ściskaniu dla stopu K63Cu.

Przeprowadzona próba statycznego rozciągania z odciążaniem pozwoliła uzyskać wartość nie tylko modułu Young'a ale także doraźnej wytrzymało-

ści na rozciąganie R_m , stałej Poissona oraz wydłużenia A i przewodzenia Z . Dwie ostatnie wielkości mają szczególne znaczenie przy określaniu wskaźników opisujących kryterium technologiczne.

Wyniki otrzymane z przeprowadzonej próby zamieszczono w tabelicy 2.

Tabelica 2

Wartości wskaźników własności fizyko-mechanicznych uzyskane w próbie statycznego rozciągania

Lp.	Wskaźnik	Materiał		
		K63Cu "A"	K63Cu "B"	PA4N
1	Moduł sprężystości podłużnej E w MPa	79626,8	74913,2	21091,5
2	Doraźna wytrzymałość na rozciąganie R_m w MPa	608,2	582,9	382,6
3	Naprężenie $R_{0,2}$ w MPa	510,6	488,5	313,9
4	Stała Poissona μ	0,3	0,3	0,3
5	Wydłużenie A w %	7,6	9,2	9,56
6	Przewężenie B w %	15,6	16,5	21,7

Badania twardości pozwoliły na obliczenie jej wartości jako stosunek siły obciążającej P , która w prowadzonych doświadczeniach wynosiła $9,82 \text{ kN}$, do powierzchni czaszy kulistej odcisku trwałego w mm^2 . Obliczone wartości twardości badanych materiałów zamieszczono w tabelicy 3.

Tabelica 3

Wartości wskaźnika twardości uzyskane w doświadczeniach dla badanych stopów

Lp.	Materiał	Średnia wartość z odczytów $d_{\text{śr}}$ w mm^2	Średni błąd wartości średniej $Md_{\text{śr}}$	Twardość HB	Uwagi
1	K63Cu "A"	2,83	$\pm 0,01$	154-157	
2	K63Cu "B"	2,87	$\pm 0,01$	150-152	
3	PA4N	3,56	$\pm 0,02$	96-98	

Doświadczenia prowadzone ze stopem K63Cu A i B w celu stwierdzenia jego odporności na pełzanie, pozwoliły stwierdzić, że obciążenie $P = 11,55$ kN w przypadku serii próbek A powoduje ich zniszczenie po czasie $t = 2300$ godz. Dla partii B, zniszczenie próbek następuje po czasie $t = 1400$ godz., przy obciążeniu $P = 11,07$ kN. Kolejne zmniejszanie obciążenia pozwoliło ustalić, że przy $P = 10,6$ kN dla partii A, odkształcenie całkowite po czasie $t = 10.000$ godz. wynosiło $0,42\%$ przy odkształceniu początkowym wynoszącym $0,36\%$, występującym po $t = 6$ min. Dla partii B, przy obciążeniu $P = 10,1$ kN odkształcenie całkowite po czasie $t = 10.000$ godz. osiągało wartość $0,44\%$, przy odkształceniu początkowym równym $0,34\%$ osiąganym po $t = 6$ min. Przy dalszym obniżeniu obciążenia odkształcenia nie występują.

WNIOSKI Z PRZEPROWADZONYCH BADAŃ

Analizując wyniki badań przeprowadzonych wg założonego programu możemy powiedzieć, że:

- przyjęte do doświadczeń stopy Al posiadają trwałą wytrzymałość zmęczeniową. Należy tu jednak zaznaczyć, że badania trwałości wytrzymałości zmęczeniowej należy prowadzić przy ilości cykli $N = 10^8$, gdyż przy wartości $5 \cdot 10^7$ cykli, obserwowano jeszcze nieznaczny jej spadek,
- stopy Al wykazują dużą wrażliwość na działanie karbu, czego dowodem było obniżenie trwałości wytrzymałości zmęczeniowej dla badanych próbek z karbem w stosunku do gładkich o około 30% . Fakt ten należy uwzględnić przy projektowaniu kształtu osi i kół zestawów,
- otrzymane wartości wskaźnika Z_{gj} dla stopu K62Cu A i B, są wyższe od maksymalnego naprężenia zastępczego występującego w kole obręczowanym, co pozwala sądzić o przydatności stopu na tego typu konstrukcji (Z_{gj} dla partii A wyższe o około 55% , dla B o około 40% , dla PA4N uzyskano wartość Z_{gj} niższą o około 12%),
- otrzymane wartości wskaźnika Z_{go} dla stopu K63Cu A (próbki gładkie) są wyższe od maksymalnych naprężeń zginających występujących w osi o około $7,6\%$. Wskazuje to na możliwość zastosowania badanego materiału na osie, jednak z koniecznością uwzględnienia wpływu karbu,
- wartość modułu sprężystości podłużnej E , wskazuje na konieczność odpowiedniego kształtu elementów celem zachowania niezbędnej sztywności konstrukcji. Dotyczy to przede wszystkim kształtu kół,
- twardość stopu K63Cu A i B jest wystarczająca na zastosowanie go w budowie elementów zestawu. Stop PA4N posiada twardość znacznie niższą od wymaganej w tego typu konstrukcjach,
- problem odkształcenia elementów zestawu na skutek pełzania materiału możemy pominąć, gdyż obciążenia działające zarówno na koła jak i na osie zestawu posiadają znacznie niższe wartości niż obciążenia powodujące pełzanie badanych stopów.

Generalnym wnioskiem jaki można wyciągnąć w oparciu o kryterium wytrzymałościowe, to stwierdzenie przydatności stopu K63Cu w wersji A do wytwarzania osi i kół obręczowych wagonowego zestawu kołowego, zaś wersji B, tylko na koła.

LITERATURA

- [1] Hegenbarth F.: Der Leichttradsatz für Hochgeschwindigkeiten im Rad/Schiene - System, 2 EV - Glass. Annal. nr 96, 1972.
- [2] Tataro R., Wolnowska M.: Wagonowe zestawy kołowe. Wydawnictwo uczelniane Politechniki Poznańskiej, Poznań 1965.
- [3] Praca zbiorowa pod kierunkiem Prof. J. Brosia: Studium nad możliwością zastosowania stopów lekkich i tworzyw sztucznych na koła zestawów kołowych. Instytut Pojazdów Szynowych, Kraków 1972.
- [4] Kosiński A.: Możliwości wykonania kcia bezobrazowego przez spawanie profilowego wieńca z kołem bosym. ZN Politechniki Krakowskiej, zeszyt 36 z 1971 r.
- [5] Żmuda-Sroka M.M.: Kryteria doboru materiałów konstrukcyjnych na elementy biegowe pojazdów szynowych. Praca doktorska 1978.
- [6] Jakowluk A.: Pewne procesy reologiczne w metalach na przykładzie stopów aluminium. Białyсток 1970.
- [7] Jakowluk A.: Wyniki badań próbek ze stopu PA4, własności mechaniczne w funkcji temperatur, pażanie. Materiały III K.K. Wytrzymałości Materiałów, SIMP - WAT, 1963.
- [8] Volk W.: Statystyka stosowana dla inżynierów. WNT, Warszawa 1973.

Recenzent: Doc. dr hab. inż. Józef Marciniak

Wpłynęło do Redakcji 15.09.1989 r.

СПЛАВЫ А1 КАК МАТЕРИАЛ НА БЕГОВЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ
ПОЕЗДОВ В СВЕТЛЕ ВЕДЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИИ

Р е з ю м е

В этой работе на основе сопротивляемостного критерия обсужден отбор сплавов А1 на элементы подвижного состава. Этот критерий основан условиям работы подвижного состава является базой программы исследований намеченных сплавов. Разработку окончивается предложениями выведенными из результатов переведенных опытов.

THE Al ALLOYS AS A MATERIAL OF RAIL VEHICLES RUNNING ELEMENTS
IN THE LIGHT OF THE RESEARCH CARRIED OUT

S u m m a r y

In the paper, the selection of the Al alloys as a material of the wheel set elements on the basis of the strength criterion was discussed. That criterion supported on the wheel set operating conditions was the basis of the tests project of the selected alloys.

As the ending, the conclusions following the tests results were given.