ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1976

Seria: Hutnictwo 8 Nr kol. 485

Adam Gierek
Adam Kwaśnicki
Tadeusz Lamber

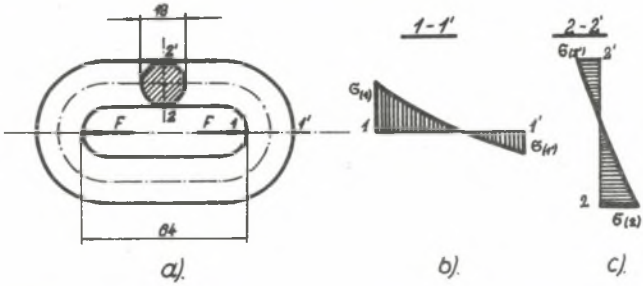
Instytut Inżynierii Materiałowej

WPŁYW OŚRODKA CHŁODZĄCEGO PRZY HARTOWANIU OGNIWOWYCH ŁAŃCUCHÓW GÓRNICZYCH KLASY C NA ICH WYTRZYMAŁOŚĆ ZMĘCZENIOWĄ

Streszczenie. W pracy wykazano, że zastosowanie w procesie produkcji ogniwowych łańcuchów górniczych klasy C hartowania w oleju zamiast hartowania w wodzie zwiększa około czterokrotnie ich trwałość.

1. Wprowadzenie

Warunki pracy ogniwowych łaścuchów górniczych, powszechnie stosowanych jako elementy napędowe w maszynach i urządzeniach górniczych służących do urabiania i transportu węgla, są nadzwyczaj ciężkie. Są one bowiem narażone na obciążenia dynamiczne typu udarowego. Należy przy tym również uwzględnić ujemny wpływ środowiska korozyjnego, występującego podczas eksploatacji złóż węglowych. Wszystko to stanowi przyczynę szybkiego niszczenia łańcuchów górniczych, często o charakterze zmęczeniowym [1], [2]. Oprócz czynników eksploatacyjnych duży wpływ na trwałość łańcuchów ogniwowych posiada złożony charakter rozkładu napężeń w ogniwie, wynikający tak z jego kształtu, jak i naprężeń własnych powstałych w czasie procesów technologicznych jego wytwarzania. Na rysunku (1) przedstawiono wymiary i kształt badanych ogniw oraz rozkład naprężeń w niektórych przekrojach ogniwa, zmierzonych metodą elastooptyczną [3].



Rys. 1. Kształt i wymiary ogniwa łańcucha oraz rozkład naprężeń w dwóch jego przekrojach

Odporność łańcuchów górniczych na niszczenie zmęczeniowe można zwiększyć dwoma sposobami. Pierwszy z nich to dobór właściwych materiałów, co

często związane jest ze wzrostem kosztów produkcji. Drugi, mniej kosztowny, to wytworzenie stanu naprężeń ściskających w warstwie wierzchniej ogniw łańcucha, uodporniających je na zmęczenie [4], [5], [6], [7].

Kryteria wyboru odpowiedniego rodzaju zabiegu technologicznego, mającego na celu wywołanie naprężeń ściskających, zależą od szeregu czynników W omawianym przypadku będzie to właściwy dobór parametrów obróbki cieplnej

2. Cel i zakres pracy

Obserwacja i szczegółowa analiza złomów zmęczeniowych ogniw łańcuchów górniczych o małej trwałości wykazała, że rozpoczynały się one zawsze od warstwy wierzchniej. Swiadczy to o istnieniu różnego rodzaju "wad" w warstwie wierzchniej, powstałych w wyniku stosowanych procesów produkcyjnych i technologicznych, które są źródłami inicjowania obserwowanych pęknięć zmęczeniowych. W pracy niniejszej przyjęto, że jednym z tych procesów może być hartowanie w wodzie, po którym należy się liczyć z naprężeniami hartowniczymi oraz lokalnymi niejednorodnościami i skupiskami defektów typu Griffitha w strukturze materiału warstwy wierzchniej. W związku z tym, celem pracy było zbadanie wpływu rodzaju ośrodka chłodzącego, użytego do hartowania, na wytrzymałość zmęczeniową łańcuchów ogniwowych.
Badania przeprowadzono na najczęściej stosowanych w górnictwie łańcuchach ogniwowych (rys. 1) klasy C wykonanych z materiału 25 HG NM.

3. Analiza wpływu ośrodka chłodzącego na zmiany strukturalne i wytrzymałość zmęczeniową łańcucha ogniwowego

Dotychczas stosowanymi zabiegami obróbki cieplnej górniczych łańcuchów ogniwowych jest ich ulepszanie cieplne. Dobór parametrów tych zabiegów, w danym przypadku hartowania i odpuszczania, uzależniony jest od rodzaju materiału, a zwłaszcza od jego składu chemicznego (tabl. 1) i od istniejącego już w danej fazie produkcji struktury tworzywa łańcucha.

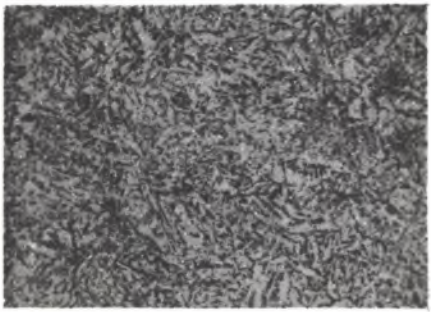
Tablica 1

Zestawienie składu chemicznego materiału wyjściowego do produkcji łańcuchów ogniwowych

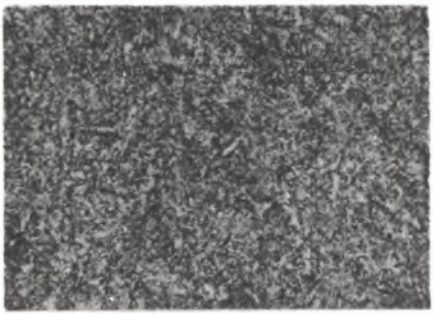
Wyszczególnienie	Składniki chemiczne %									
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Al
średnia z 3 wyników	0,25	1,06	0,30	0,025	0,016	0,55	0,58	0,25	0,15	0,03

Z tabl. 1 wynika, że zawartości wszystkich składników mieszczą się w granicach dopuszczalnych, określonych w normie BN-68/0644-01.
Strukturę materiału wyjściowego (pręty o średnicy Ø 18 mm ze stali 25 HG NM) przedstawia rysunek 2 (drobne węgliki w osnowie ferrytu). Jest to

struktura charakterystyczna dla wyżarzania zmiękczającego. Wyniki pomiarów twardości wykazywały duże rozrzuty dla poszczególnych partii materiału i wahały się w granicach od 165 do 205 HB.



Rys. 2. Struktura materiału wyjściowego na łańcuchy górnicze (stal 25 HG MN)



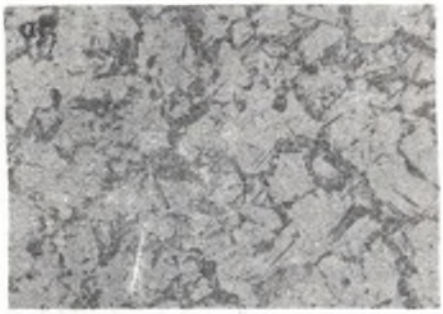
Rys. 3. Struktura materiału ogniwa łańcucha po obróbce cieplnej stosowanej w procesie produkcyjnym

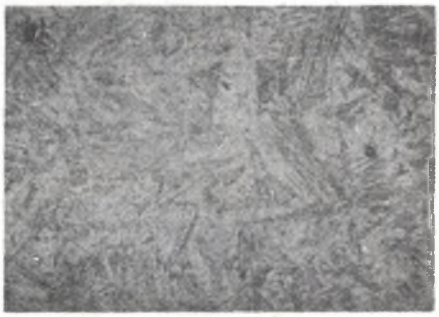
Hartowanie łańcuchów odbywa się aktualnie na linii ciągu produkcyjnego i polega na powolnym nagrzaniu do temperatury A_{c3} + + (30+50°C) i 5-minutowym wygrzewaniu,, co wydaje się niewystarczające dla przegrzania na wskroś i austenizacji, po czym łańcuch podlega chłodzeniu przez zanurzanie z prędkością około 1,2 m/min. w wodzie nagrzanej do 80°C z ewentualnym dodatkiem szkła wodnego. Celem uzyskania właściwej struktury ogniw łańcucha, zapewniającej optymalny stosunek R_{02}/Rm, zwiększenie udarności i zapasu plastyczności, zmniejszenie naprężeń własnych w warstwie wierzchniej powstałych w czasie hartowania i obniżających w tym przypadku wytrzymałość zmęczeniową, stosuje się ich odpuszczanie w temperaturze 440-480°C. Uzyskaną po tym zabiegu cieplnym strukturę przedstawia rysunek 3.

Pomimo stosowania ulepszenia cieplnego badania złomów zmęczeniowych wykazały, że inicjowanie pęknięć zmęczeniowych ma swoje źródło w warstwie wierzchniej przy obniżonej trwałości badanych łańcuchów. Celem zwiększenia trwałości łańcuchów poszukiwano odpowiednich parametrów hartowania, przy przyjęciu, że szczególnie korzystnych własności mechanicznych łańcuchów należy oczekiwać przy strukturach przejściowych powstałych w wyniku procesów dyfuzyjnych jak i bezdyfuzyjnych. Posługiwano się przy tym wykresami CTP dla hartowania stopniowego stali o własnościach zbliżonych do własności materiału na ogniwa łańcucha oraz metodą kolejnych prób.

W wyniku tych badań ustalono, że optymalny zabieg cieplny dla badanych łańcuchów polega na nagrzaniu ich do temperatury powyżej A_{c3}, wygrzaniu w tej temperaturze, a następnie na izotermicznym wytrzymaniu w oleju mine-

ralnym o temperaturze 220°C przez około 30 minut. Jak bowiem wykazały badania strukturalne (rys. 4b) i badania własności mechanicznych łańcuchów, ustalone parametry hartowania prowadzą do takiej struktury materiału ogniwa, która zapewniała wymagane przez normę odbioru technicznego BN-75/1709-01 wartości sił zrywających i odkształceń trwałych, tak przy obciążeniach statycznych jak i znaczną poprawę trwałości łańcuchów ogniwowych przy obciążeniach dynamicznych. Na rys. 4 widoczne są różnice w strukturze otrzymanej po hartowaniu w wodzie o temp. 80°C i w gorącym oleju o temp. 220°C.



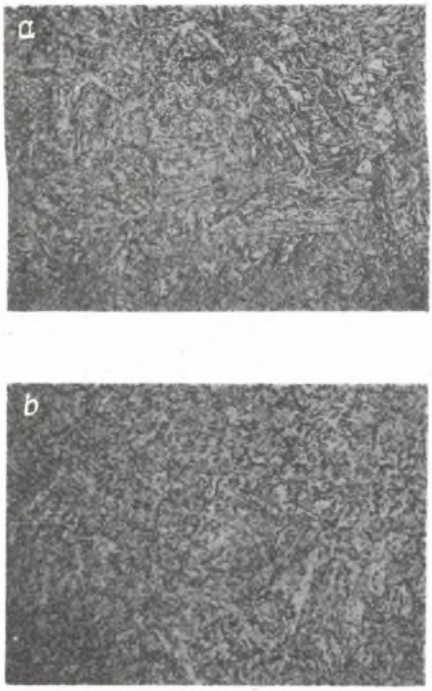


Rys. 4. Struktury materiału ogniwa łańcucha ze stali 25 HG Mn, gdzie: a - struktura po hartowaniu w wodzie, b - struktura po hartowaniu w oleju o temperaturze 22°C

W niniejszych badaniach wybór najbardziej odpowiedniej kąpieli hartowniczej poprzedzony był hartowaniem w roztopionym ołowiu o temperaturze 2360°C oraz w roztopionej cynie o temperaturze około 250°C. Po nagrzaniu łańcuchów do temperatury powyżej A_{c3}, wygrzaniu w tej temperaturze około 20 minut, zanurzano je w tych kąpielach, wytrzymywano w nich około 20 minut, a następnie chłodzono ostatecznie na powietrzu. Hartowane w ten sposób łańcuchy nie wykazywały struktury martenzytycznej (rys. 5a i b) a twardość około 370 HB. Po takiej obróbce cieplnej łańcuchy nie spełniały warunków określonych normą branżową BN-75/1709-01 i to zarówno pod względem własności wytrzymałościowych jak i plastycznych. I tak np. wydłużenie przy obciążeniu próbnym wynosiło od 7% do 10%, podczas gdy wydłużenie dopuszczalne normą dla łańcuchów klasy C wynosi 2%. Również i wytrzymałość zmęczeniowa nie wykazała znaczącego wzrostu.

Znaczne zwiększenie trwałości łańcuchów ogniwowych (tabl. 1), uzyskane przez zmianę jedynie ośrodka chłodzącego przy hartowaniu ogniw ze stali 25 HG MN z wody na olej o temperaturze 220°C, przy zachowaniu wszystkich pozostałych operacji procesu produkcyjnego, potwierdza założenie, że po hartowaniu w wodzie należy się liczyć w większym stopniu niż po hartowaniu w oleju z istnieniem lokalnych niejednorodności i rys typu Griffitha

w materiale warstwy wierzchniej i niesprzyjającego trwałości łańcucha stanu naprężeń hartowniczych. Wyszczególnione wady mogą spowodować dodatkowo ujemny efekt uwypuklający się w czasie kalibrowania łańcuchów. Kalibrowanie polega na obciążeniu ogniwa siłą wywołującą takie odkształcenie trwałe, by po jej usunięciu otrzymać wymiary ogniwa w granicach określonych normą BN-75/1709-01. Jest to niezbędne z uwagi na współpracę łańcuchów górniczych z kołami gniazdkowymi, bębnami napędowymi itp.



Rys. 5. Struktura materiału ogniwa łańcucha ze stali 25 HG Mn, gdzie: a - struktura po hartowaniu w ciekłym ołowiu, b - struktura po hartowaniu w ciekłym cynku

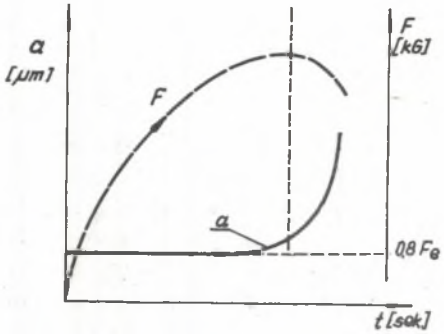
Stan naprężeń spowodowany siłą kalibrującą, nakłada się na istniejący niejednorodny stan naprężeń własnych. Wypadkowemu, niejednorodnemu stanowi naprężeń odpowiada niejednorodny stan odkształcenia i ewentualne płynięcie plastyczne, a zwłaszcza w miejscach spiętrzenia naprężeń [1] Rozważmy dla takich warunków zachowanie się mikroszczelin w warstwie wierzchniej, które mogą się stać przyczyną znacznego zmniejszenia trwałości łańcuchów.

W liniowej mechanice kruchego pękania, opierającej się na przyjęciu płaskiego stanu odkształcenia, odporność materiału na kruche pękanie, a w tym i propagację pęknięć zmęczeniowych, określa się przy pomocy długości krytycznej mirkoszczeliny [5], po przekroczeniu której następuje nagłe pęknięcie elementu konstrukcyjnego. Obliczenia te opierają się na założeniu, że w elemencie zachodzi nieznaczne płynięcie materiału.

Z opisanego przebiegu kalibrowania łańcucha wynika, że wartości płynięcia plastycznego, szczególnie zaś w niektórych miejscach ogniwa, mogą być znaczne. W związku z tym do analizy zachowania się mikropęknięć w czasie kalibrowania ogniw należy stosować metody badań nieliniowej teorii mechaniki kruchego pękania. W tym przypadku zależność pomiędzy obciążeniem a wzrostem długości szczeliny [8] przedstawia rys. 6, z którego wynika, że do pewnej wartości obciążenia, odpowiadającej naprężeniu 0,8 Re, nie zachodzi przyrost długości szczeliny lub też jest on nieznaczny. Po przekroczeniu tej wartości długość szczeliny wybitnie wzrasta i powiększa się

bądź to do rozmiarów krytycznych, co w rezultacie prowadzi do nagłego pęknięcia, bądź też do wzrostu długości bliskiej krytycznej. W tym ostatnim przypadku łańcuch charakteryzować się będzie małą trwałością. Przeprowadzane badania doświadczalne potwierdziły słuszność przedstawionych wywodów. Okazuje się, że przekroczenie pewnej wartości siły kalibrującej wybitnie zmniejsza trwałość łańcuchów ogniwowych (tabl.2)

Stosowanie zatem hartowania w gorącym oleju ma szczególne znaczenie, gdyż zmniejsza prawdopodobieństwo istnienia mikroszczelin, w szczególności w warstwie wierzchniej.



Rys. 6. Propagacja szczeliny mikropęknięcia w czasie t w miarę wzrostu obciążenia F

a - długość szczeliny mikropęknięcia 0,8 F_e - obciążenie odpowiadające naprężeniu 0,8 R_e

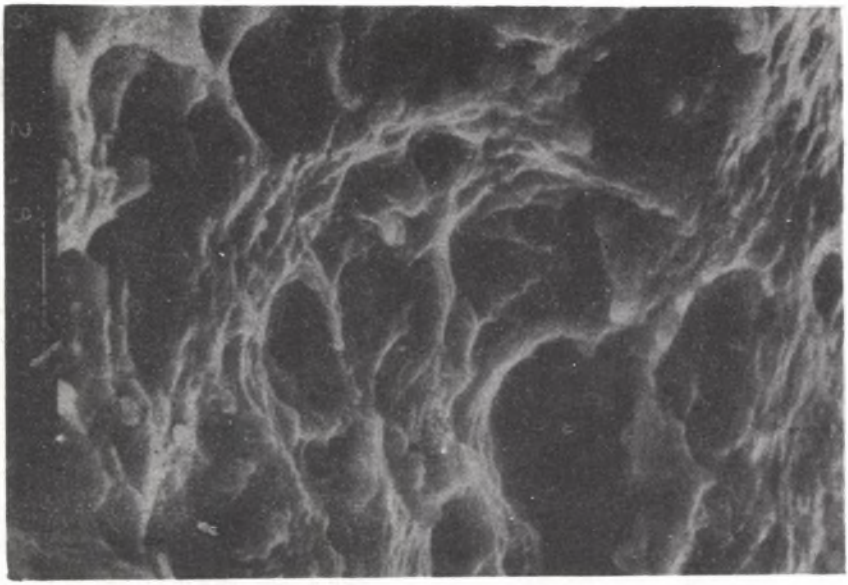
4. Badania zmęczeniowe

Obowiązująca dla łańcuchów górniczych norma branżowa BN-75/1709-01, zgodnie z którą prowadzono niniejsze badania, precyzuje wymagania dotyczące ich badań zmęczeniowych. Zgodnie z normą łańcuchy poddane obciążeniom zmiennym w zakresie od σ_{min} = 5 kG/mm^2 do σ_{max} = 25 kG/mm^2, przy częstotliwości od 400 do 800 cykli/min. powinny osiągnąć co najmniej: w klasie B i C - 50000 cykli, a w klasie D - 70000 cykli.

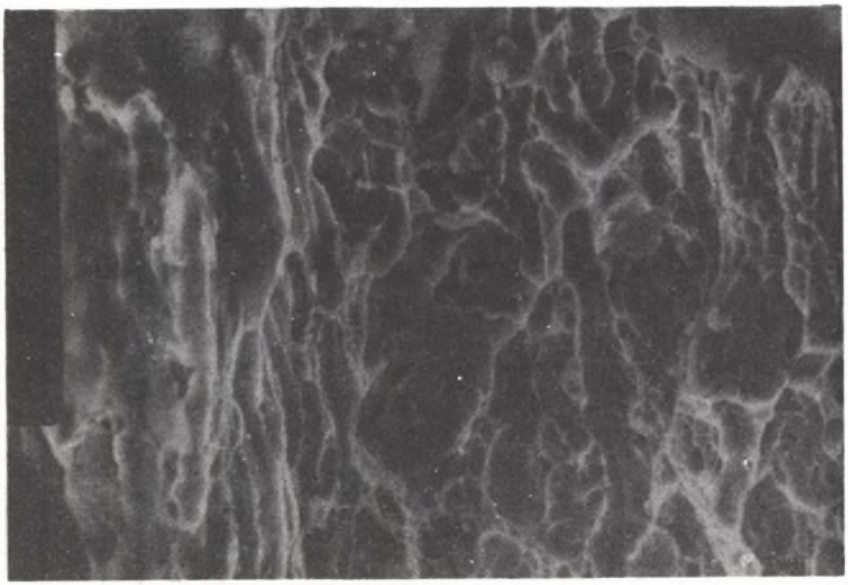
Próbki do badań zmęczeniowych stanowiły 5 ogniwowe odcinki łańcucha 18x64/C. Jedne z nich hartowano w wodzie i odpuszczano w temperaturze 440-480°C, tj. w warunkach analogicznych jak to ma miejsce w procesie produkcyjnym, inne zaś hartowano w oleju o temperaturze 220°C, przetrzymywano w nim około 30 minut i chłodzono w powietrzu.

Kalibrowanie odcinków łańcucha prowadzono na maszynie firmy Amsler do 50000 kG. Siły kalibrowania dla poszczególnych partii próbek zestawiono w tabl. 2. Przebieg kalibrowania był analogiczny do tego, jaki stosuje się w procesie produkcyjnym łańcuchów.

Zastosowana w przeprowadzonych badaniach temperatura oleju jako ośrodka chłodzącego 220°C wydaje się zbyt niska. Wynika to z pomiaru twardości i wydłużenia, twardość jest nieco za duża, a wydłużenie za małe. W związku z tym celowe się wydaje powtórzenie badań dla temperatur oleju od 240 do 300°C, z równoczesnym zastosowaniem niskiego odpuszczania (~ 200°C).



a)



b)

Rys. 7. Skaningowy obraz złomu zmęczeniowego ogniwa łańcucha górniczego ze stali 25 RG NM, gdzie:

a - złom po hartowaniu w wodzie, b - złom po hartowaniu w gorącym oleju

Tablica 2

Zestawienie niektórych wartości średnich wielkości mechanicznych i zmęczeniowych ogniwowych łańcuchów górniczych ze stali 25HGNM

Nr serii	Rodzaj obróbki cieplnej	Obciążenia statyczne		Twardość HB kG/mm^2	Wydłużenie przy obciążeniu		N Ilość cykli do zniszczenia	
		kalibrujące kG	zrywające kG		próbnym %	zrywającym %	N_c	średnio
1	hartowana z temp. 870°C w wodzie i odpuszczana w temperaturze 440 ./. 460°C	34000	43800	380	1,9	11	68300 81000 72600	73900
2		32800	43800	380	1,9	11	141000 152200 143400	145500
3	hartowana z temp. 870°C w oleju o temp. 220°C z następnym chłodzeniem w powietrzu	32800	42500	405	1,3	10	254000 272000 243000	256000

5. Wnioski

1. Badania zmęczeniowe wykazały około 3 i 1/2 krotnie większą trwałość łańcuchów hartowanych w gorącym oleju od trwałości analogicznych łańcuchów hartowanych w wodzie i odpuszczanych. Wyższość hartowania w gorącym oleju widoczna jest również przy obciążeniach statycznych łańcuchów.
2. Znaczne zwiększenie trwałości łańcuchów ogniwowych uzyskane przez zmianę jedynie ośrodka chłodzącego przy jego hartowaniu z wody na olej, przy zachowaniu wszystkich pozostałych operacji procesu produkcyjnego, potwierdza założenie, że po hartowaniu w wodzie należy się liczyć w większym stopniu niż po hartowaniu w oleju z istnieniem lokalnych niejednorodności i skupisk różnego rodzaju defektów w strukturze materiału warstwy wierzchniej.
3. Niestabilność szczelin po przekroczeniu pewnej wartości obciążania (siła krytyczna) powoduje dalszy szybki ich wzrost do długości krytycznych, co jest przyczyną nagłego niszczenia materiału lub gotowego wyrobu. Nieodpowiednio dobrana siła kalibrowania ogniwa może się stać zatem przyczyną znacznego obniżenia trwałości łańcuchów. Górna i dolna granica siły kalibrującej zależy między innymi od rodzaju ośrodka chłodzącego przy hartowaniu.

LITERATURA

[1] Antoniak J., Suchoń J.: Wytrzymałość zmęczeniowa łańcuchów ogniwowych. Przegląd Mechaniczny 1972 nr 22.

[2] Lamber T., Leśkiewicz J.: Badania zmęczeniowe łańcuchów z materiału G 15 G. Biuletyn Techniczny. Zjednoczenie Przemysłu Wyrobów Metalowych, Kraków 1973, zeszyt nr 5/132/73.

[3] Schaefer W.: Beschafenheit, Prufung und Beurteilung hochfester Hebe - und Forderketten fur den Bergbau. Gluckauf nr 9, 1960.

[4] Gierek A., Lamber T.: Oddziaływanie naprężeń własnych w aluminiowo-dyfuzyjnej warstwie wierzchniej na wytrzymałość zmęczeniową. Obróbka powierzchniowa wyrobów ze stopów żelaza - procesy oczyszczania i ulepszania, II Międzynarodowa Konferencja Naukowa. Katowice-Jaszowiec 1973.

[5] Kocańda S.: Zmęczeniowe niszczenie metali, NT Warszawa 1972.

[6] Buch A.: Zagadnienia wytrzymałości zmęczeniowej, PWN, Warszawa 1964.

[7] Fuchs A.: Zagadnienia wytrzymałości zmęczeniowej, PWN, Warszawa 1964.

[8] Liebowitz H.: Mathematical Theories of Brittle Fracture, Akademic Press New York 1968.

ВЛИЯНИЕ ОХЛАЖДАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПРИ ЗАКАЛКЕ ГОРНЫХ ЦЕПЕЙ КЛАССА С НА ИХ УСТАЛОСТНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ

Р е з ю м е

В работе доказано, что в процессе производства горных звеньевых цепей класса С применение закалки в смазке вместо закалки в воде четырехкратно увеличивает их стойкость.

THE INFLUENCE OF COOLING MEDIUM UPON THE FATIGUE STRENGTH AT THE HARDENING OF MINING LINK CHAINS OF C-CLASS

S u m m a r y

In the paper it has peen shown that in the production process of mining ling chains of C-class the application of hardening in oil instead of hardening in water increases the fatique strength four times.