

MIECZYŚLAW WIECZORKOWSKI
Huta Florian, Świętochłowice

PRZYCZYNY TWORZENIA SIĘ WYKRUSZEŃ NA WALCACH DO WALCOWANIA TAŚM

Streszczenie: Omówiono i sprawdzono w trakcie walcowania taśmy na zimno aktualne poglądy na przyczyny oraz mechanizm tworzenia się wykruszeń na walcach ze stali NC7V2. Stwierdzono, że są to zniszczenia zmęczeniowe, które zachodzą najczęściej według stałe powtarzalnego mechanizmu, rozprzestrzeniając się od powierzchni beczki walca w głąb, na skutek wpływu szeregu czynników.

1. Wstęp

Tworzenie się wykruszeń na stalowych walcach do walcowania na zimno nie jest zagadnieniem nowym. Znane jest ono niemal tak długo, jak długo istnieją walcarki do walcowania na zimno. Zjawisko tworzenia się odprysków na walcach nie było uprzednio jednak tak częste jak obecnie, następowało również po znacznie dłuższej eksploatacji.

We wszystkich walcowniach taśm, tak krajowych jak i zagranicznych, problem zbyt krótkiej eksploatacji walców, na skutek tworzenia się na nich wykruszeń, zaczął się szczególnie potęgować od chwili wprowadzenia walcarek o dużej wydajności (tzn. o dużej szybkości walcowania).

Tworzenie się wykruszeń na walcach jest ściśle związane z warunkami ich pracy, a te bez porównania są bardziej ciężkie w wypadku odkształcania metalu z większą szybkością walcowania.

Wykruszanie się walców w czasie walcowania jest zagadnieniem złożonym, w którym takie czynniki, jak nacisk metalu na walce, środek smarująco-chłodzący, temperatura walców, wielkość naprężeń własnych i zaistniałych w czasie pracy oraz jeszcze szereg innych, mają poważne znaczenie.

W Hucie "Florian" zjawisko tworzenia się wykruszeń na walcach wystąpiło z chwilą zainstalowania prototypowych walcerek nawrotnych kwarto o szybkości walcowania 5 m/s, projektowanych przez Biprohut. Należy podkreślić, że np. w 1967 r., na ogólną liczbę 170 sztuk zużytych walców, 112 sztuk, a więc ponad 65% wycofanych zostało wskutek odprysków.

Walec o średnicy wyjściowej 140 mm, zużywający się w sposób normalny, przeszlifowany jest co 8 godzin mniej więcej o 0,02 mm - aż do średnicy końcowej 130 mm. Wspomniane wyżej 112 walców wycofano z eksploatacji przy przeciętnej średnicy końcowej 136,5 mm, a więc po osiągnięciu zaledwie 35% dopuszczalnego zużycia.

Należy również zaznaczyć, że walce o identycznej technologii wykonania, tej samej produkcji, pracujące również w walcarkach prototypowych, nawrotnych kwarto, projektowanych także przez Biprohut lecz o szybkości walcowania 2 m/s, nie ulegają wykruszeniom. Walce te jednakże pracują nie tylko z mniejszą szybkością, ale walcują taśmy grubsze. Wobec takiego stanu rzeczy postanowiono przeprowadzić bardziej wnikliwe badania, które by pozwoliły na określenie bezpośrednich i istotnych przyczyn powodujących przedwczesne zużywanie się walców.

2. Aktualne poglądy na przyczyny i mechanizm powstawania wykruszeń

Szereg autorów [1,2,3] wyraża pogląd, że zarodki tworzenia się wykruszeń na walcach do walcowania na zimno umiejscowione są na pograniczu warstwy zahartowanej i przejściowej, tzn. w miejscu gdzie ulega znacznemu zmniejszeniu twardość. Inni natomiast, jak Borovik [4], Kukło [5] oraz Lankau [6] stwierdzają, że zarodkami wykruszeń są bardzo drobne ryski usytuowane na powierzchni beczki walca. Kukło [5] sugeruje, iż bardzo drobne ryski wytwarzają się bądź to na powierzchni beczki walca, bądź też na głębokości kilku dziesiętnych milimetra pod jej powierzchnią, w wyniku subtelnych zmian struktury wewnętrznej warstwy powierzchniowej (niedostrzegalnej pod mikroskopem optycznym), na skutek naprężeń powstałych w czasie procesu wal-

cowania. Według niego również drobne ryski na powierzchni beczki walca mogą powstać na skutek zbyt dużych nacisków metalu na walce, względnie nieodpowiedniego szlifowania walców.

Staudinger [7] stwierdza, że rysy, czy też pęknięcia szlifierskie, posiadające kierunek prostopadły do kierunku szlifowania, powstają na skutek miejscowego silnego nagrzania, w wyniku czego w miejscu tym następuje odkształcenie plastyczne stali, która następnie przy gwałtownym ochłodzeniu pęka.

W trakcie procesu walcowania, zwłaszcza na walcarkach o dużych wydajnościach, pomimo dostatecznego na pozór chłodzenia, zachodzi w wyniku tarcia bardzo duże nagrzanie się powierzchni beczki walców. Naturalnie zjawisko to potęguje się przy niedostatecznym chłodzeniu walców emulsją, zwłaszcza stosunkowo uboższą w olej lub na skutek ślizgania się taśmy w walcach.

Oczywistym powodem wytwarzania się rysek, czy nawet lokalnych pęknięć na powierzchni beczki walca [8] jest miejscowe zgrzanie się doń taśmy walcowanej, w następstwie zbyt dużego tarcia.

Lankau [6] sugerując, że przyczyną tworzenia się odprysków na walcach może być nieodpowiedni ośrodek chłodząco - smarujący, wspomina iż na jednej z walcarek o dużej wydajności walcowania, po przejściu z chłodzenia olejem na chłodzenie olejowo-wodne, stwierdzono natychmiastowe wykruszanie się walców. Po ponownym natychmiast przejściu na chłodzenie olejem, wykruszanie się walców zostało zahamowane.

Walce do walcowania na zimno narażone są na oddziaływanie dużych naprężeń własnych, wynikłych z procesu obróbki cieplnej, zmiennych naprężeń cieplnych oraz mechanicznych, zaistniałych w czasie pracy.

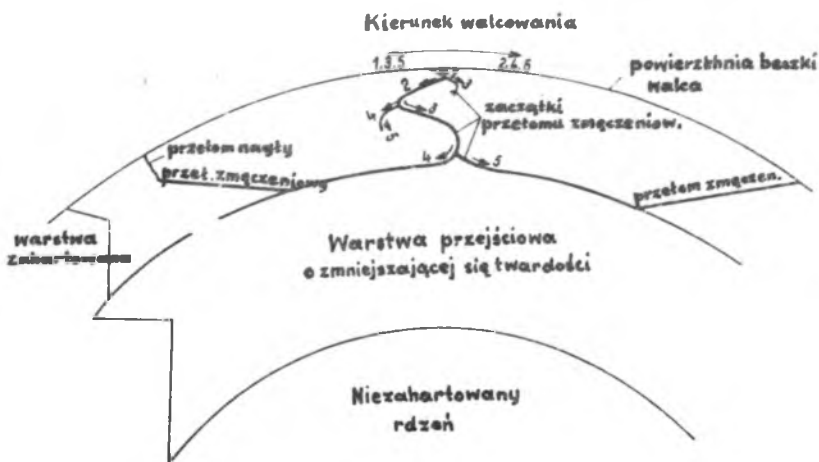
Według Bühlera i Herrmanna [9], jak również Nowikowa [3], na powierzchni beczki walca będącego w spoczynku występują naprężenia własne styczne, dochodzące nawet do 80 kg/mm^2 .

Wewnątrz walca występują także naprężenia promieniowo-rozciągające. W czasie walcowania występują jeszcze naprężenia cieplne oraz robocze. Zagadnienie naprężeń zaczyna się jeszcze bardziej komplikować, gdy wziąć pod uwagę cykliczność obciążeń,

wynikłą z obrotu walca. Ostatecznie więc naprężenia styczne, oddziałują na powierzchnię beczki walca w sposób ściskająco - pulsujący, natomiast naprężenia promieniowe w sposób rozciągająco-ściskający.

To pulsujące oddziaływanie naprężeń posiada decydujące znaczenie w powstawaniu odprysków.

Lankau [6] wysnuwa nawet śmiały i oryginalny, ale zarazem bardzo prawdopodobny wniosek, iż wykruszenia na walcach wytwarzają się zawsze według pewnego na ogół powtarzalnego mechanizmu. Dowodzi on, iż w wyniku wspólnego oddziaływania promieniowych i stycznych naprężeń, uprzednio istniejąca na powierzchni beczki ryska (rys. 1) rozprzestrzenia się spiralnie w głąb walca, jednakże w kierunku odwrotnym do kierunku walcowania.



Rys. 1. Schemat mechanizmu tworzenia się wykruszenia na walcu podczas walcowania [6]

W chwili gdy kierunek walcowania ulega zmianie, zmienia się również kierunek przenikającego dalej pęknięcia. Jednocześnie na jego przedłużeniu wytwarza się nowe pęknięcie. Im bardziej pęknięcie rozprzestrzenia się w głąb walca, tym bardziej się rozszerza, a kierunek jego staje się równoległy do powierzchni walca. Tłumaczone jest to przeważającym działaniem naprężeń promieniowych.

Koniec tego pęknięcia, znajdujący się najczęściej w okolicy strefy przejściowej, na skutek wzajemnego docierania się powierzchni pękniętych, staje się zarodkiem (zaczątkiem) przełomu zmęczeniowego, który odzwierciedla się w postaci obszaru języczkowatego kształtu o mocno zdeformowanym ziarnie.

Latorre i Chakko [10] przeprowadziwszy szereg badań w walcowniach amerykańskich doszli do wniosku, że ujemny wpływ na żywotność walca wywiera wzrost ilości odwalcowanego materiału, pomiędzy poszczególnymi szlifowaniami powierzchni beczki. Twierdzą oni, że jeżeli ryski powierzchniowe zostaną usunięte przez zeszlifowanie grubszej warstwy z beczki walca lub walec, na którym stwierdzono ryski, będzie eksploatowany przez krótki okres czasu, to możliwość powiększenia się i przenikania rysek w głąb walca zostaje zmniejszona, przez co do pewnego stopnia zahamowane zostaje zjawisko tworzenia się wykruszeń.

Należy podkreślić, że również stopień zanieczyszczenia walców wtrąceniami niemetalicznymi wpływa na ich żywotność. Niektórzy autorzy [11] stwierdzają, iż wytrzymałość zmęczeniowa stali, niewrażliwa praktycznie na wtrącenia niemetaliczne przy małej doraźnej wytrzymałości, maleje poważnie przy wysokich wytrzymałościach (twardościach) stali. Walce wykazują zaś bardzo wyską twardość. Zaczątkami pęknięć zmęczeniowych, czy to na powierzchni, czy w głębi warstwy, mogą więc być, oprócz innych czynników, właśnie wtrącenia niemetaliczne.

Istnieją również poglądy, wydające się teoretycznie w pełni uzasadnione, że na trwałość walców ujemnie wpływa zbyt duża zawartość austenitu szczątkowego w warstwie utwardzonej. Austenit ten ulegając przemianie (pod wpływem naprężeń roboczych oraz czasu) na martenzyt o znacznie większej objętości właściwej, może dodatkowo pogarszać stan naprężeń własnych.

Brusiłowski i Iwanow [12] przeprowadzili specjalne badania, poświęcone temu problemowi poczem stwierdzili, że ze wzrostem ilości austenitu szczątkowego rzeczywiście maleje trwałość walców. Trzeba jednak stwierdzić, że przytaczany przez nich materiał dowodowy jest zbyt mało przekonujący.

Jednak wszyscy przytoczeni wyżej autorzy stwierdzają zgodnie, iż dotychczas nie stwierdzono jeszcze wypadku, aby pęknięcie zagiębiało się bardziej do warstwy przejściowej.

3. Badania własne

3.1. Spostrzeżenia poczynione w trakcie walcowania taśmy

Przypatrując się walcowaniu na prototypowych walcarkach o szybkości walcowania $5 \frac{m}{s}$ zaobserwowano, iż często w czasie walcowania taśmy następuje zerwanie się jej oraz nawinięcie wraz z jednoczesnym lokalnym zgrzaniem do walca. Następuje to przeważnie podczas walcowania cienkich taśm (o grubości poniżej 1,5 mm) jako wynik niedostatecznego zsynchronizowania szybkości walców z szybkościami bębnow nawijających. Na jednej z walcarek stwierdzono nawet, iż jeden z jej bębnow obracał się mimośrodowo, wskutek czego występował cyklicznie zmienny naciąg.

Stwierdzono również, wprawdzie z pewnym przybliżeniem, że temperatura walców roboczych jest stosunkowo wysoka (powyżej $80^{\circ}C$) i nie równomierna na całej długości beczki, pomimo iż walce są stale chłodzone emulsją olejowo - wodną (1 część oleju wiertniczego na 10 części wody), podawaną na górny walec oporowy oraz na oba robecze,

Zaobserwowano także, iż niektóre kręgi bednarki posiadają uszkodzone mechanicznie krawędzie w postaci miejscowych zagięć oraz okaleczeń, jak również to, że niekiedy przechodzi się z walcowania taśmy węższej na szerszą na tych samych walcach. Za mało wnikliwie także kontrolowany jest proces szlifowania walców.

3.2. Przedmiot badań

Przedmiotem badań było 10 walców przedwcześnie wycofanych z eksploatacji. Walce o średnicy beczki 140 mm oznaczone numerami 1,2,3,4 pracowały około 6 godzin i wycofane zostały z eksploatacji na skutek zgrzania do nich w czasie walcowania taśmy (rys. 2). Walce o numerach od 5 do 10 posiadały na po-

wierzchni beczki, o średnicy 136,5 mm, mniejsze bądź większe wykruszenia (rys. 3,4,5), walce te pracowały przez około 90 godzin.

Ponadto przedmiotem badań były odpryski z walców o numerach od 5 ÷ 10. Przeprowadzona analiza chemiczna badanych walców nie wykazała istotnych różnic między sobą zdecydowanie potwierdzając, że wykonane one zostały ze stali NC7V2.

3.3. Badania twardości walców przeprowadzono sposobem Shore'a wzdłuż tworzącej beczki oraz wokół miejsc wykruszeń i zgrzania taśmy. Stwierdzono wysoką, równomierną twardość, która po przeliczeniu wynosi $HV = 931 \div 965 \text{ kg/mm}^2$. Pomiar twardości 5 odprysków przeprowadzono sposobem Vickersa przy użyciu obciążenia 30 kG na powierzchni roboczej oraz w przekroju poprzecznym warstwy zahartowanej.

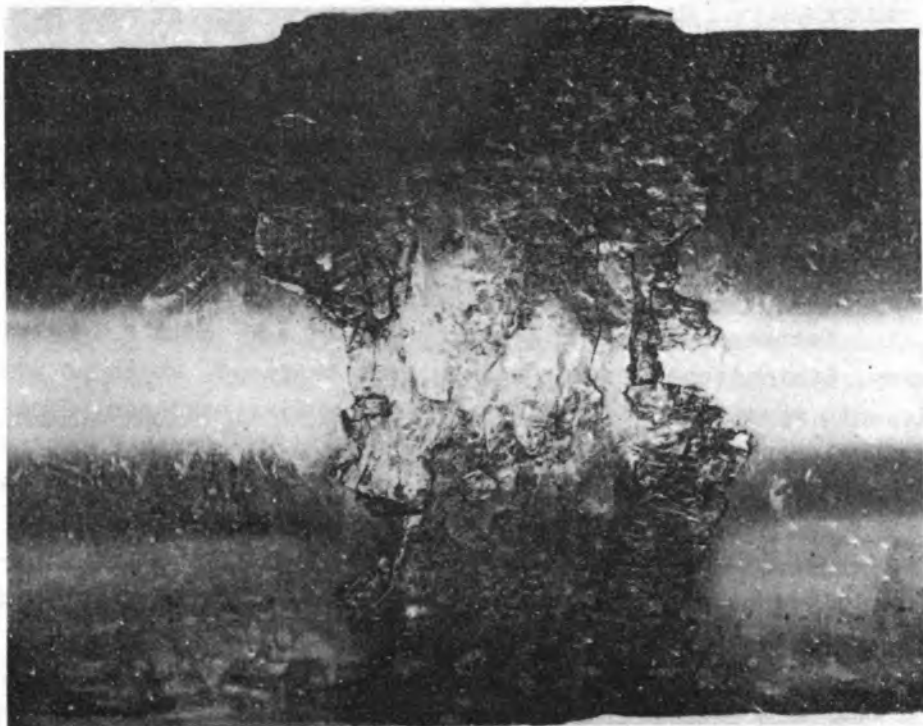
Stwierdzono także równomierne i duże twardości nawet w wypadku odległości 3,0 mm od powierzchni roboczej odprysku; wynoszą one $HV = 912 \div 966 \text{ kg/mm}^2$.

3.4. Badania makroskopowe wykonano na wszystkich walcach oraz odpryskach, naturalnie po uprzednim (płytkim) zeszlifowaniu z walców o nr 1 ÷ 4 zgrzanej taśmy. Wykonano obserwacje powierzchni walców oraz miejsc wykruszeń, zarówno przed, jak i po naniesieniu penetranta kolorowego o nazwie "Defektosol" oraz przebadano je także przy użyciu defektoskopu elektromagnetycznego HD 1500 produkcji CSRS. Wszystkie walce przebadano również defektoskopem ultradźwiękowym DI20 wzdłuż tworzącej beczki walca przy użyciu fal podłużnych, stosując stosunkowo duże ich wzmocnienie.

Po przeszlifowaniu miejsc zgrzania taśmy na walcach o nr 1+4 stwierdzono duże i głębokie pęknięcia (rys. 6).

Obserwacje po naniesieniu penetranta nie wykazały wad powierzchniowych na powierzchni walców, w miejscach wolnych od wykruszeń.

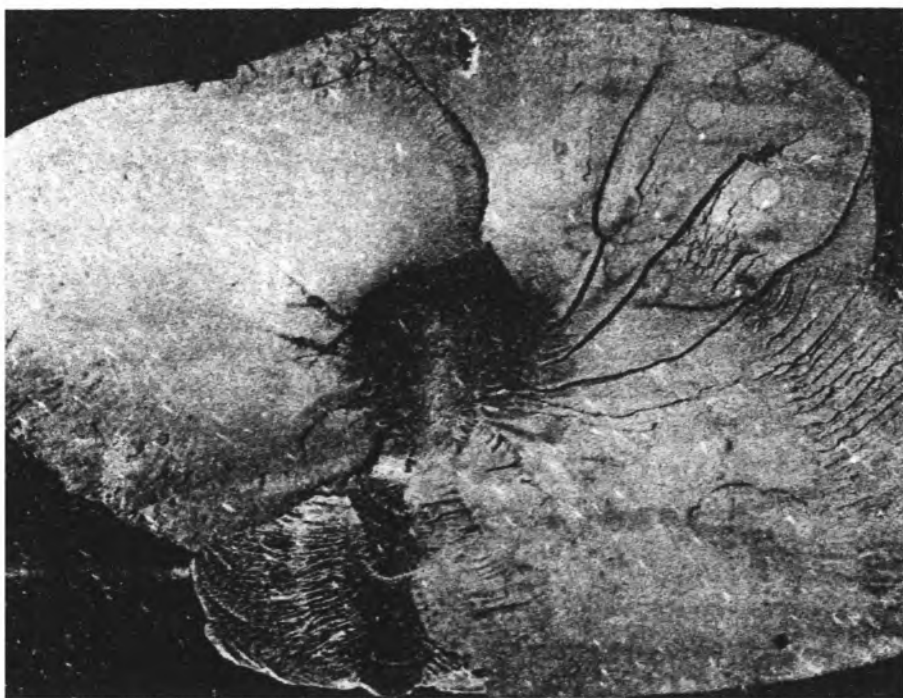
Badanie defektoskopem elektromagnetycznym wykazało natomiast na walcu nr 4 zarys siatki szlifierskiej (rys. 7).



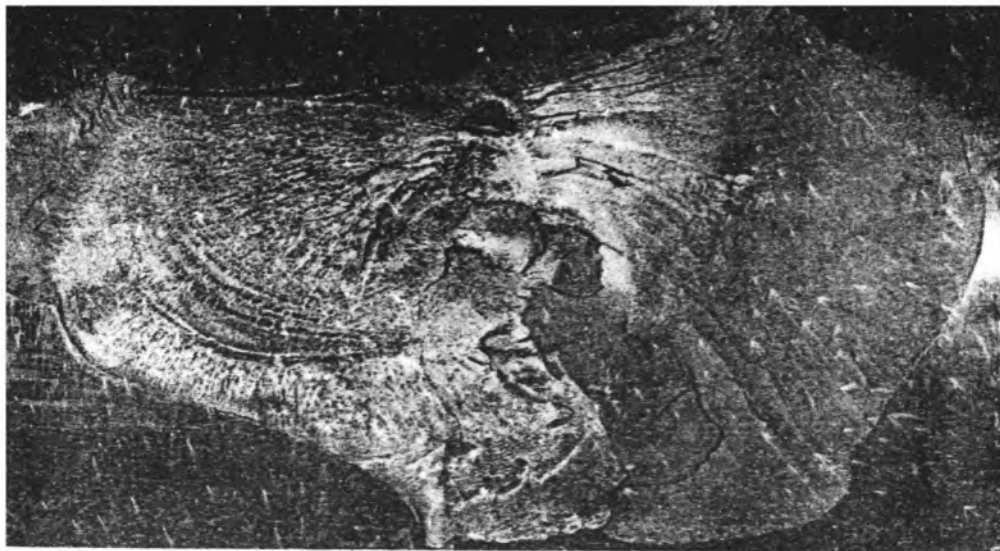
Rys. 2. Zgrzana taśma na powierzchni beczki walca nr 1



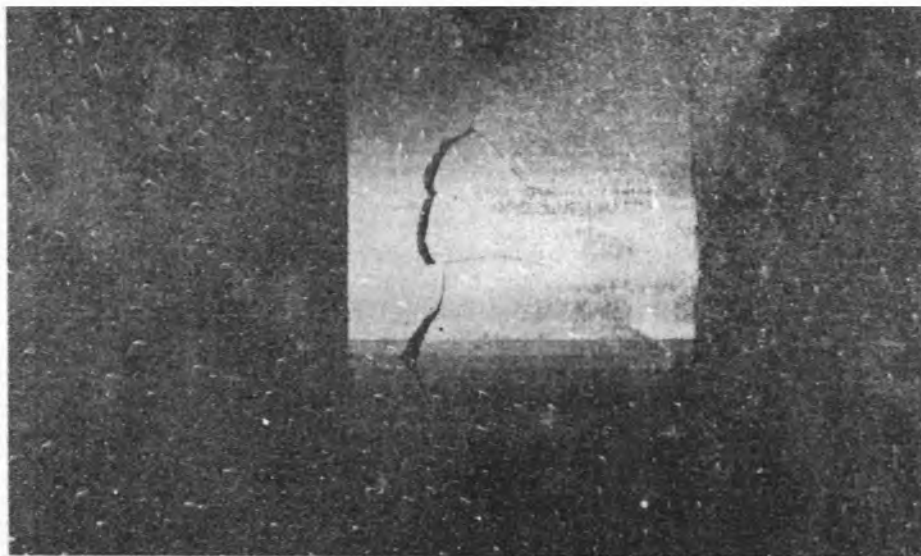
Rys. 3. Widok walca nr 5 z dużym wykruszeniem na powierzchni beczki



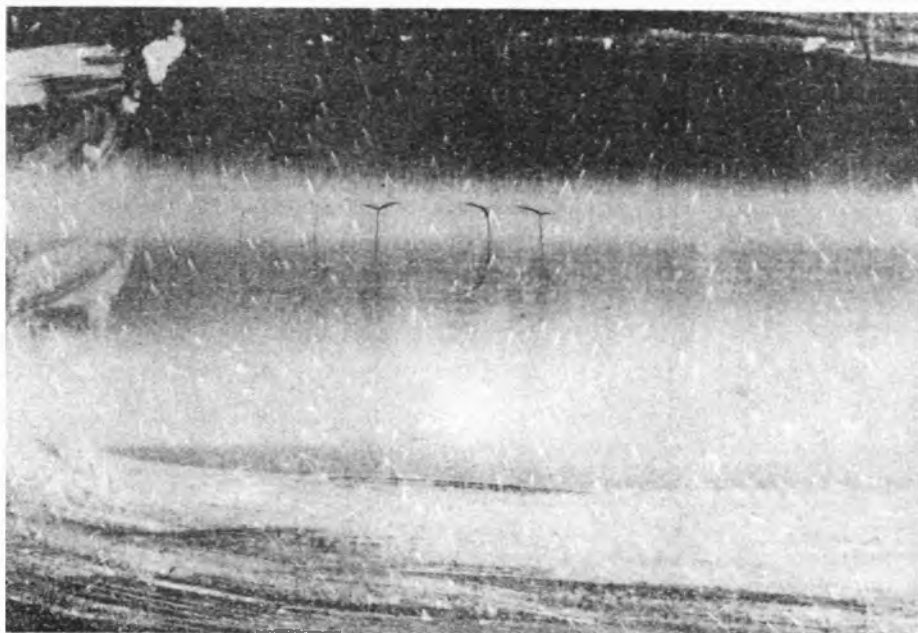
Rys. 4. Wykruszenie się powierzchni beczki walca nr 6



Rys. 5. Wykruszenie się powierzchni beczki walca nr 7



Rys. 6. Głębokie, duże pęknięcia na powierzchni beczki walca nr 1 w miejscu przedniego zgrzania taśmy



Rys. 7. Zarys siatki szlifierskiej na walcu nr 4, stwierdzony defektoskopem elektromagnetycznym HD 1500

Badanie ultradźwiękowe wykazało zwartość budowy wewnętrznej na wszystkich 10 walcach. Wprawdzie na walcach nr 7 i 10 stwierdzono na głębokości około 40 mm trzy lokalne, krótkie nieciągłości, jednakże wysokość amplitudy fal od ich odbicia, w porównaniu do amplitudy echa dna, była dwukrotnie mniejsza.

Obserwacje miejsc wykruszeń na walcach o nr 5 ÷ 10 wykazały, że są one wyglądem swoim bardzo do siebie podobne. Na przykład na wykruszeniu z walca nr 6 widoczne są wyraźnie dwa obszary (rys. 4). Jeden mniejszy, umiejscowiony mniej więcej w środku wykruszenia, odznaczający się ziarnem bardzo drobnym, jest obszarem przełomu zmęczeniowego. Drugi obszar większy, o ziarnie wyraźnie grubszym, umiejscowiony po obu stronach obszaru zmęczeniowego, jest obszarem przełomu nagłego, który powstał w końcowej fazie tworzenia się odprysku.

Charakterystyczne dla przełomu zmęczeniowego tzw. linie spoczynku rozprzestrzeniają się w dwóch kierunkach od zarodka wykruszenia. To powiększanie się pęknięcia zmęczeniowego bardzo wyraźnie zostało odzwierciedlone przez kilka, jakby wyrastających jeden z drugiego obszarów o języczkowatym kształcie.

3.5. Badania mikroskopowe wykonano na zglądach pobranych z odprysków walców o nr 5 ÷ 10. Zglądy wykonano na powierzchni przecięcia zaczątków tworzenia się przełomu zmęczeniowego od warstwy powierzchniowej w głąb. Obserwacje zglądów w stanie polerowanym oraz trawionym przy użyciu odczynnika $Mi^{1}Fe$, przeprowadzono na mikroskopie optycznym "Neophot-2" firmy Zeiss.

Na zglądach z odprysków walców o nr 5 ÷ 10 stwierdzono bardzo podobne do siebie pęknięcia, nie różniące się wyglądem oraz kierunkami rozprzestrzeniania, a jedynie tylko ich wielkością.

Na zglądzie z odprysku walca nr 6 stwierdzono pęknięcie biorące swój początek z okolicy warstwy podpowierzchniowej beczki walca (rys. 8). Przebiega ono w głąb spiralnie, stale się rozszerzając. Mniej więcej w połowie swojej długości rozdziela się na nowe pęknięcia, które pod kątem około 30° przebiega w przeciwną stronę, rozprzestrzenia również spiralnie, dochodząc do zaczątku przełomu zmęczeniowego, przedstawionego na rys. 4.

Na zglądach wytrawionych stwierdzono w każdym wypadku prawidłową strukturę martenzytyczną z równomiernie rozłożonymi węglnikami chromu.



Rys. 8. Pęknięcie na przekroju odprysku z walca nr 6

4. Wnioski

W oparciu o przegląd piśmiennictwa oraz poczynione spostrzeżenia podczas walcowania taśmy, jak również uzyskane wyniki z przeprowadzonych badań, wysnuć można następujące wnioski:

1. Stal, z której wykonane zostały walce, nie budzi zastrzeżeń tak pod względem składu chemicznego, jak i stopnia czystości. Również struktura warstwy powierzchniowej oraz jej twardość jest właściwa, co świadczy o należytej przeprowadzonej obróbce cieplnej walców.

2. Tworzenie się wykruszeń na walcach jest ściśle związane z warunkami ich pracy, które w wielu wypadkach budzą bardzo poważne zastrzeżenia.

Nierównomierne naciągi, prowadzące do zrywania się taśmy i zgrzewania jej do walców; okaleczone, względnie powyginane miejscowo krawędzie bednarki; walcowanie taśmy szerszej na tych samych walcach, które uprzednio walcowały taśmę węższą; niestandardne szlifowanie walców, odzwierciedlające się w postaci siatki szlifierskiej - są to oczywiste powody tworzenia się wykruszeń na walcach.

3. Stwierdzone wykruszenia na walcach są zniszczeniami zmęczeniowymi, które na ogół nie różnią się od siebie wyglądem, a jedynie tylko rozmiarami. Powstają one najprawdopodobniej według powtarzającego się mechanizmu, rozprzestrzeniając się od warstwy powierzchniowej, względnie tuż podpowierzchniowej do warstwy przejściowej z szybkością ściśle uzależnioną od wartości naprężeń.

LITERATURA

- [1] SCHERER R.: Stahl und Eisen, 59 (1939) 40, str. 1105÷1111.
- [2] KADERAVEK Z.: Hutnicke listy, 15 (1960), 5, str. 355÷366.
- [3] NOWIKOW W.: Metalłowedenije i termičeskaja obrabotka metalłow, (1957) 1, str. 43 ÷ 50.
- [4] BOROWIK Ł., PIMENOW A.: Stal (1961) 8, str. 716 ÷ 720.
- [5] KUKŁO N.: Stal (1964) 6, str. 544 ÷ 547.
- [6] LANKAU G.: Neue Hütte (1966) 7, str. 404 ÷ 409.
- [7] STAUDINGER H.: Härterei - Technische Mitteilungen, (1952) 5, str. 226 ÷ 241.
- [8] ORZECZOWSKI S.: Referat wstępny do pracy problemowej "Stale narzędziowe", IMZ (1968) str. 16 ÷ 29, niepublikowany.
- [9] BÜHLER N., HERRMANN E.: VDI - Zeitschrift, 103 (1961) 10, str. 436 ÷ 442.
- [10] LATORRE I., CHAKKO M.: Iron Steel Engineer, 39 (1962) 12, str. 149 ÷ 172.
- [11] BUCH A.: Zagadnienia wytrzymałości zmęczeniowej, PWN (1964), str. 70.
- [12] BRUSIŁOWSKI B., IWANOW F.: Metalłowedenije i termičeskaja obrabotka metalłow (1968) 3, str. 17 ÷ 19.

ПРИЧИНЫ И МЕХАНИЗМ ОБРАЗОВАНИЯ ВЫКРОШИВАНИЙ
НА СТАЛЬНЫХ ВАЛКАХ

Резюме

В статье рассматриваются актуальные взгляды на причины и механизм образования выкрошиваний на стальных вальках из стали NC7V2. Установлено, что вальки разрушаются вследствие усталости, распространяющейся от поверхности вглубь валька. На механизм возникновения усталости вальков влияют многие факторы.

DIE URSACHEN DER ENTSTEHUNG DER SCHALENAUSBRÜCHE
AN WALZEN ZUM KALTWALZEN VON BÄNDERN

Z u s a m m e n f a s s u n g

Die neuesten Erkenntnisse über die Ursachen und den Mechanismus der Schalenausbrüche an Walzen aus dem Stahl NC7V2 wurden besprochen und im Verlauf des Kaltwalzens von Bändern überprüft. Es wurde festgestellt, dass es Ermüdungsschäden sind, welche in häufigsten Fällen nach einem bestimmten Mechanismus, verlaufen als Folge einer Reihe verschiedener Einflüsse von der Oberfläche ins Innere der Walzen sich erweitern.