

Janusz KRAWCZYK*

**MECHANIZM POWSTAWANIA BIAŁEJ WARSTWY
W KONTEKŚCIE ZUŻYCIA NARZĘDZI PODCZAS
KSZTAŁTOWANIA STALOWYCH ELEMENTÓW
KONSTRUKCYJNYCH**

**THE MECHANISM OF THE WHITE LAYER FORMATION
IN THE CASE OF THE WEAR OF TOOLS DURING
THE FORMING OF STEEL STRUCTURAL PARTS**

Słowa kluczowe:

zużycie, tribologia, biała warstwa, kucie, stal narzędziowa

Key words:

wear, tribology, white etching layer, forging, tool steel

Streszczenie

Kształtowanie na gorąco lub ciepło elementów stalowych konstrukcyjnych stwarza warunki sprzyjające tworzeniu się na powierzchni narzędzi

* AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej, al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, tel. (12) 617-26-19, fax (12) 617-31-90, e-mail: jkrawcz@agh.edu.pl.

stalowych tzw. białej warstwy. Tworzenie się białej warstwy w wyniku procesów tribologicznych oraz przemian fazowych w warstwie wierzchniej narzędzi często odgrywa główną rolę w ich mechanizmie zużycia. W pracy przedstawiono morfologię białej warstwy tworzącej się na narzędziach podczas wyciskania elementów stalowych zderzaka kolejowego. Udało się uzyskać obraz białej warstwy pozwalający na zaproponowanie szczegółowej koncepcji mechanizmu jej tworzenia się.

WPROWADZENIE

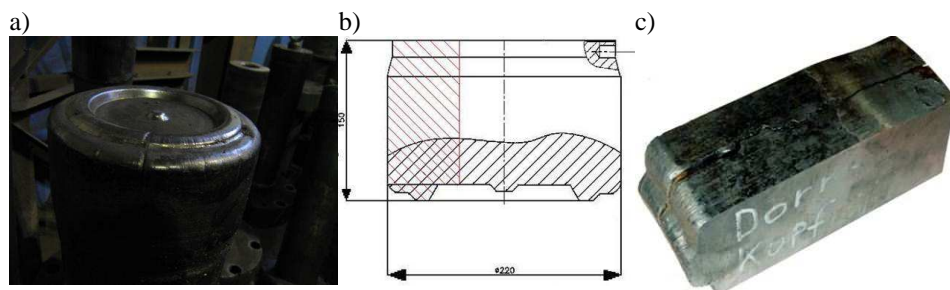
Szczególnym przypadkiem zmian w mikrostrukturze w warstwie wierzchniej podczas oddziaływania tribologicznego jest tworzenie się tzw. białej warstwy [L. 1–7]. Zjawisko to dotyczy elementów wykonanych ze stopów na osnowie żelaza. Wydaje się to być warunek konieczny dla utworzenia się białej warstwy. Pomimo dużej częstotliwości występowania tego zjawiska oraz licznych z tym związanych doniesień literaturowych [L. 1], nadal brak ogólnie uznanej koncepcji tworzenia się białej warstwy [L. 8]. Jest to o tyle istotne, że tworzenie się białej warstwy jest uznawane za przyczynę wielu uszkodzeń narzędzi, zniszczeń powierzchni oraz awarii elementów konstrukcji [L. 1, 9]. Na podstawie licznych obserwacji oraz badań powstała jednak [L. 1] następująca propozycja zdefiniowania tego zjawiska: białą warstwą należałoby nazywać trudno trawiającą się warstwę wierzchnią materiału charakteryzującą się wielką (powyżej 1000 HV) twardością oraz dużą kruchością, utworzoną w wyniku bardzo szybkiego nagrzania do wysokich (odpowiadających zakresowi istnienia austenitu) temperatur, któremu towarzyszy bardzo silne odkształcenie (zdefektowanie) struktury krystalicznej, a następnie natychmiastowe oziębienie, zwykle do temperatury otoczenia.

Weryfikacja powyższej koncepcji tworzenia się białej warstwy wymaga dalszego prowadzenia obserwacji przypadków występowania tego zjawiska oraz oceny morfologii białej warstwy pod kątem mechanizmu jej powstawania. To założenie stało się punktem wyjściowym dla niniejszej pracy.

MATERIAŁ DO BADAŃ

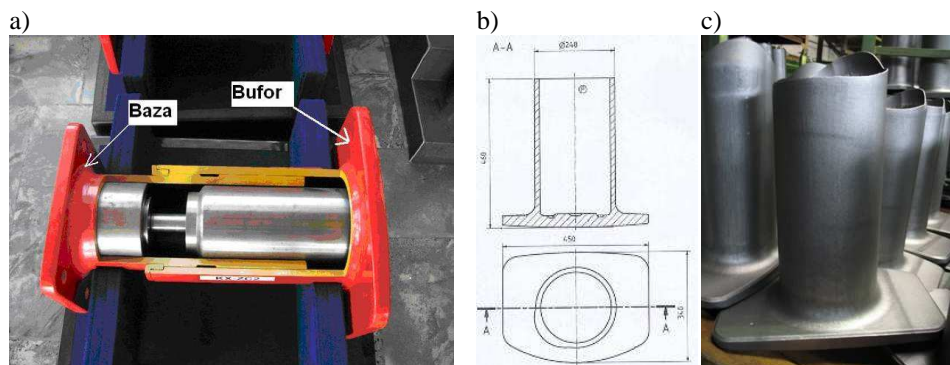
Materiał do badań pobrano ze zużytego stempla matrycy (**Rys. 1**), który pracował przy produkcji bufora zderzaka kolejowego (**Rys. 2**). Odkuwki elementów zderzaka kolejowego ze stali S355JR produkowano ze spę-

czoney wstępnie odkuwki w 1 operacji wyciskania. Spęczanie wykonano na prasie mechanicznej $h_k = 300$ mm, czas chłodzenia w powietrzu 25 s, narzędzia 5 s. Wyciskanie realizowano na prasie hydraulicznej. Temperatura wsadu wynosiła ok. 1250°C , a narzędzie-matryca było nagrzewane wstępnie do $350\text{--}450^{\circ}\text{C}$. Podczas wyciskania stosowano smar na bazie grafitu.



Rys. 1. Miejsce i sposób pobrania materiału do badań: a) zużyty stempel, b) sposób pobrania materiału do badań, c) materiał pobrany do badań

Fig. 1. The material for investigations: a) used stamp, b) the method of taking the material for the investigations, c) the material taken for investigations



Rys. 2. Produkowany element: a) zderzak kolejowy z zaznaczonym buforem i bazą, b) schemat odkuwki bufora zderzaka, c) odkuwki bufora zderzaka

Fig. 2. The produced part: a) the railway bumper with marked buffer and base, b) the cross-section of railway bumper forging, c) the bumper forgings

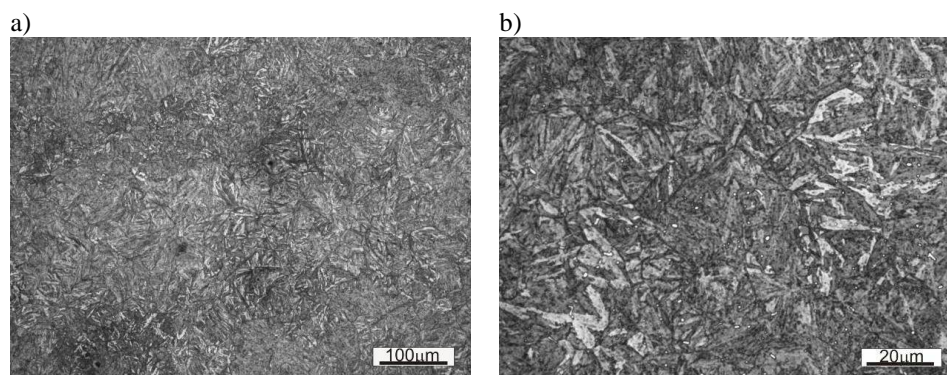
Stempel został wykonany ze stali 32CrMoV12-28 (wg DIN nr 1.2365 i oznaczonej X32CrMoV3-3), o składzie chemicznym zamieszczonym w **Tabeli 1**. Mikrostrukturę materiału (po eksploatacji), z którego wykonano stempel przedstawiono na **Rys. 3**. Można zaobserwować, że mikro-

strukturę stempla stanowi odpuszczony martenzyt z widocznymi wydzieleniami równomiernie rozmieszczonych węglików stopowych drugorzędowych. Mikrostruktura ta charakteryzuje się jednorodnym ziarnem. Twardość tego materiału wynosi 413 HV30, tj. ok. 42 HRC. Wskazuje to, że materiał stempla uległ w wyniku eksploatacji silnemu odpuszczeniu, ponieważ w stanie wyjściowym powinien on się charakteryzować twardością powyżej 50 HRC. Twardość, jaką charakteryzuje się materiał stempla, powinna występować w przypadku jego nagrzania do temperatury ok. 650°C.

Tabela 1. Skład chemiczny (% masowy) stali, z której wykonano stempel

Table 1. Chemical composition (weight %) of steel of which the stamp was made

C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Cu	V
0,30	0,29	0,30	2,83	0,14	2,57	0,10	0,44

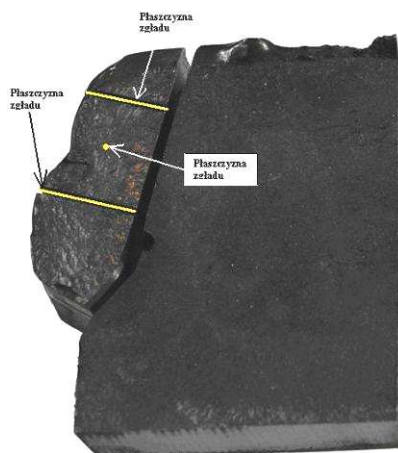


Rys. 3. Mikrostruktura badanego stempla. Traw. 2% nital

Fig. 3. Microstructure of the investigated stamp. Etched with 2% nital

METODOLOGIA BADAŃ

Sposób pobrania próbek do badań metalograficznych mechanizmu zużycia przedstawiono na **Rys. 4**. Na rysunku tym zaznaczono również płaszczyny, w których wykonano zgiędy metalograficzne.

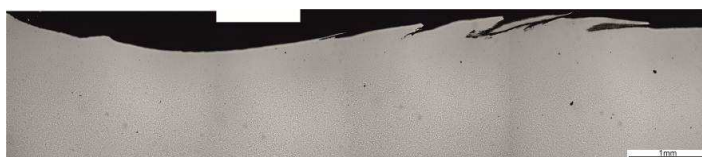


Rys. 4. Sposób pobrania próbek do badań metalograficznych

Fig. 4. The method of taking the samples for metallographic investigations

WYNIKI BADAŃ I ICH DYSKUSJA

Obserwacje na zglądach nietrawionych w przekroju (równoległym do osi i promienia stempla) przez warstwę przypowierzchniową, pozwalają zaobserwować geometrię rozwoju pęknięć powstałych w wyniku eksploatacji tego narzędzia (**Rys. 5**).

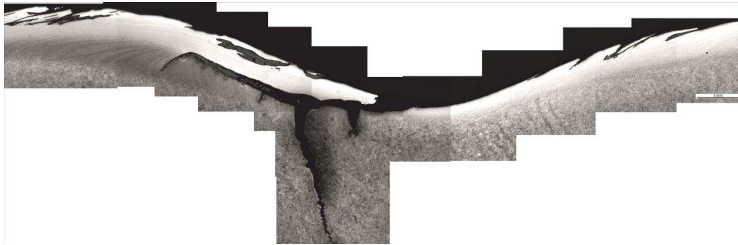


Rys. 5. Zgląd nietrawiony (równoległy do promienia i osi stempla) w obszarze przypowierzchniowym stempla

Fig. 5. Unetched cross section (parallel to the radius and the axis of the stamp) in the area near the surface of the stamp

Początkowy rozwój pęknięcia odbywa się pod niewielkim kątem w stosunku do powierzchni roboczej. Dopiero wtórne pęknięcia ukierunkowują się równoległe do osi stempla (**Rys. 6**). Wskazuje to na mechanizm zarodkowania pęknięć wynikający z oddziaływania tribologicznego.

Natomiast propagacja pęknięcia wzdłuż promienia stempla odbywa się w wyniku zmęczenia cieplnego lub cieplno-mechanicznego. Taki mechanizm tworzenia się i rozwoju pęknięcia potwierdzają obserwacje mikrostruktury po wytrawieniu (**Rys. 6**).

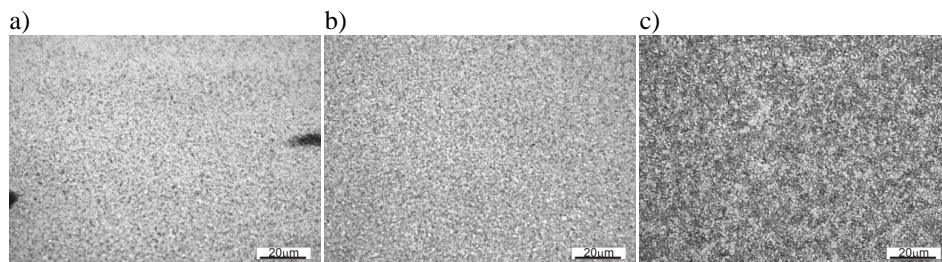


Rys. 6. Mikrostruktura w warstwie wierzchniej stempla. Traw. 2% nital
Fig. 6. Microstructure in the top surface of the stamp. Etched with 2% nital

Analiza mikrostruktury przedstawionej na **Rys. 6** pozwala w sposób bardziej szczegółowy określić mechanizm zużycia stempla (DK). Warstwa wierzchnia stempla najprawdopodobniej w wyniku oddziaływania tribologicznego z gorącym, kształtowanym materiałem ulega zaustenitowaniu. Austenit następnie odkształca się plastycznie tworząc zawalcowania (zakucia), które spełniają rolę karbu ułatwiającego dalszy rozwój pęknięcia rozwijającego się pod powierzchnią roboczą narzędzia. Szybkie ochłodzenie warstwy wierzchniej narzędzia po zakończonym procesie kształtowania odkuwki powoduje przemianę zdefektowanego, w wyniku intensywnego odkształcenia plastycznego, austenitu w nanokrystaliczny (silnie zdefektowany) martenzyt. Ten martenzyt na zglądzie metalograficznym zobrazowany na **Rys. 6** widoczny jest w postaci tzw. białej warstwy, cechującej się twardością powyżej 1000 HV. W zależności od odległości od powierzchni mikrostruktura w obszarze ww. białej warstwy różni się. Różnice w mikrostrukturze białej warstwy w zależności od odległości od powierzchni przedstawia **Rys. 7**.

Obserwacje mikrostruktury przedstawionej na **Rys. 7** wskazują na zmiany wielkości ziarna (najprawdopodobniej o wymiarach nanokrystalicznych) od najdrobniejszego (obszar białej warstwy najbliższy powierzchni roboczej) do największego, ale nadal nanokrystalicznego w części białej warstwy najbardziej oddalonej od powierzchni roboczej. Takie różnice w morfologii białej warstwy najprawdopodobniej wynikają

z różnic w stopniu odkształcenia (zdefektowania) wcześniej utworzonego austenitu. Tworzenie się białej warstwy o mikrostrukturze martenzytycznej musi być związane ze wzrostem objętości (martenzyt jest mikrostrukturą o największej objętości właściwej), co oczywiście skutkuje wzrostem naprężeń pomiędzy warstwą wierzchnią a materiałem rodzimym stempla. Ułatwia to dalszy rozwój pęknięć pomiędzy warstwą wierzchnią a materiałem rodzimym stempla.



Rys. 7. Zmiany w mikrostrukturze białej warstwy z odległością od powierzchni: a) mikrostruktura najbliższej powierzchni, b) mikrostruktura w warstwie głębiej niż z rys. a, c) mikrostruktura w obszarze białej warstwy najdalej oddalonym od powierzchni

Fig. 7. Changes in the microstructure of the white layer with the distance from the surface: a) microstructure near the surface, b) microstructure in the surface lower than this shown on Fig. 7a, c) microstructure in the area of the white layer – the area most distant from the surface of the stamp

WNIOSKI

Wykonane w niniejszej pracy badania pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

- 1) Warunki pracy elementów matrycy przy wytwarzaniu elementów zderzaka kolejowego sprzyjają tworzeniu się białej warstwy.
- 2) Warstwa wierzchnia najprawdopodobniej w wyniku oddziaływania tribologicznego z gorącym, kształtowanym materiałem ulega zaustępnitzowaniu. Austenit następnie odkształca się plastycznie tworząc zawalcowania (zakucia), które spełniają rolę karbu ułatwiającego dalszy rozwój pęknięcia rozwijającego się pod powierzchnią roboczą narzędzia. Szybkie ochłodzenie warstwy wierzchniej narzędzia po zakończonym procesie kształtowania odkuwki powoduje przemianę zdefektowanego, w wyniku intensywnego odkształcenia plastycznego, austenitu w nanokrystaliczny (silnie zdefektowany) martenzyt.

Podziękowania

Mgr inż. B. Bojarskiej dziękuję za pomoc w przygotowaniu niniejszej pracy.

Badania realizowane w ramach Projektu „Opracowanie nowych zaawansowanych technologii kucia materiałów wysokotopliwych” Nr WND-POIG.01.03.01-12-004/09 w Programie Operacyjnym Innowacyjna Gospodarka (POIG). Projekt współfinansowany przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego.

LITERATURA

1. Pacyna J., Krawczyk J.: Warunki powstawania i własności białej warstwy, *Hutnik – Wiadomości Hutnicze* 72, 11 (2005), s. 545–553.
2. Griffiths B.J.: White layer formations at machined surfaces and their relationship to white layer formations at worn surfaces, *Transactions of the ASME, Journal of Tribology* 107 (1985), s. 165–171.
3. Barbacki A., Józwiak K., Dynak K.: Biała warstwa-próba definicji, warunki powstawania, właściwości, *Inżynieria Materiałowa* 27, 5 (2006), s. 862–867.
4. Józwiak K., Kachlicki T.: Cienka folia z białej warstwy, *LAB Laboratoria, Aparatura, Badania* 10, 2 (2005), s. 26–29.
5. Barbacki A., Kawalec M., Hamrol A.: Turning and grinding as a source of microstructural changes in the surface layer of hardened steel, *Journal of Materials Processing Technology* 133 (2003), s. 21–25.
6. Barbacki A., Kawalec M.: Structural alterations in the surface layer during hard machining, *Journal of Materials Processing Technology* 64 (1997), s. 33–39.
7. Krawczyk J., Pacyna J.: Effect of tool microstructure on the white layer formation. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering* 17, 1–2 (2006), s. 93–96.
8. Barbacki A.: Kształtowanie struktury i właściwości warstwy wierzchniej przez obróbkę skarawaniem, *Zeszyty Naukowe Politechniki Świętokrzyskiej, Mechanika* 72 (2000), s. 119–124.
9. Pacyna J., Krawczyk J.: The wear mechanisms of toughened rails, *Metalurgy and Foundry Engineering* 27, 2 (2001), s. 229–235.

Recenzent:
Janusz JANECKI

Summary

Hot or warm forging of steel structural parts favors the formation of the white layer on the surface of steel tools. The formation of the white layer is the result of tribological processes, and phase transformations in the surface of the tools often plays the main role in the wear mechanisms in these tools. The morphology of the white layer forming on the surface of tools during the extrusion of steel parts of a railway bumper is presented in this work. The research enabled the analysis of the microstructure of the white layer as well as discussions and proposals of a detailed description of the white layer formation mechanisms.

