

Janusz KRAWCZYK*

**INTERAKCJA POMIĘDZY TWORZENIEM SIĘ
BIAŁEJ WARSTWY A ODDZIAŁYWANIEM
ADHEZYJNYM W WARUNKACH TARCIA
STOPÓW ŻELAZA W WYSOKIEJ TEMPERATURZE**

**INTERACTION BETWEEN THE CREATION OF A WHITE
LAYER AND ADHESIVE REACTION IN CASE
OF FRICTION OF ALLOY IRON IN HIGH
TEMPERATURE**

Słowa kluczowe:

walec hutniczy, biała warstwa, nalepienie, stopy żelaza, mikrostruktura

Key words:

mill roll, white layer, sticking, iron alloys, microstructure

Streszczenie

W pracy scharakteryzowano zjawisko tworzenia się tzw. białej warstwy na powierzchni narzędzi do kształtowania na gorąco stali. Określono czynniki strukturalne narzędzi ze stopów żelaza sprzyjające nalepianiu się na nie stali przetwarzanej plastycznie na gorąco. Wskazano przykłady współistnienia białej war-

* AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej, Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Polska, tel. 12 617-26-19, e-mail: jkrawcz@agh.edu.pl.

stwy oraz nalepień. Przyjęto mechanizm tworzenia się białej warstwy jako czynnik sprzyjający połączeniu adhezyjnemu narzędzia i stali kształtowanej na gorąco. Jako główną przyczynę połączenia adhezyjnego w ww. warunkach wskazano oddziaływanie pomiędzy mikroobszarami o mikrostrukturze austenitycznej.

WPROWADZENIE

Ogólnie znany w tribologii jest rodzaj połączenia pomiędzy dwoma ciałami zwany adhezją [L. 1, 2]. Zgodnie z definicją zawartą w pracy [L. 1] adhezją nazywamy makroskopowe zjawisko wzajemnego trwałego łączenia gazów z powierzchnią ciał stałych i cieczy, dwóch powierzchni ciał stałych oraz przylegania dwóch powierzchni cieczy przy ich zbliżeniu na bardzo małe odległości, zachodzące w wyniku działania sił międzymolekularnych. Odmianą adhezji jest kohezja, która występuje w przypadku, gdy trwałemu połączeniu ulegają takie same ciała stałe. Jeśli połączenie adhezyjne jest silniejsze niż siły kohezji jednego z połączonych materiałów, będzie następowała dekohezja (odrywanie się cząstek) tego materiału i przenoszenie ich na powierzchnię drugiego materiału [L. 3]. W przypadku dużych cząstek tak przeniesionego jednego materiału na powierzchnię materiału drugiego w terminologii technologicznej lub/i przemysłowej spotykamy się z pojęciem lepienia lub nalepiania [L. 4].

Połączenie adhezyjne może więc być jedną z przyczyn szczepiania się dwóch materiałów metalicznych. Hipotezy szczepiania metali zostały wyszczególnione w pracy [L. 5]. Są to: hipoteza wzajemnej rozpuszczalności, hipoteza uwzględniająca typ sieci krystalicznej, hipoteza wiązań metalicznych, hipoteza warstewkowa, hipoteza rekrytalizacyjna, hipoteza dyfuzyjna oraz hipoteza energetyczna. Hipotezy te opisują skłonność do tworzenia się szczepień materiałów w przypadku odpowiednich charakterystyk materiałów znajdujących się w styku. Hipoteza wzajemnej rozpuszczalności wskazuje, że skłonność do szczepień będą miały metale o skłonności do tworzenia roztworów stałych. Hipoteza uwzględniająca typ sieci krystalicznej wskazuje, że skłonność do szczepień będą miały materiały metaliczne o tej samej strukturze krystalicznej. Hipoteza wiązań metalicznych wskazuje, że skłonność do szczepień będą miały metale o odpowiednio zbliżonej strukturze elektronowej atomu. Hipoteza warstewkowa wskazuje, że skłonność do szczepień będą miały materiały metaliczne, jeśli na ich powierzchniach nie będą występowały warstewki izolujące je od siebie (np. tlenki). Jest to jednak zdecydowanie warunek konieczny do wystąpienia szczepienia adhezyjnego, ale niewystarczający. Hipoteza rekrytalizacyjna wskazuje, że skłonność do szczepień będą miały materiały metaliczne, jeśli warunki termomechaniczne w styku będą wystarczające do zajścia procesów rekrytalizacji dynamicznej na pierwotnej granicy rozdziału. Hipoteza dyfuzyjna wskazuje, że skłonność do szczepień będą miały materiały, pomiędzy którymi istnieje możliwość dyfuzji pozwalającej na przerastanie ziarn (np. jednej fazy) przez

pierwotną granicę rozdziału. Dyfuzję ułatwiać będą duże odkształcenia sprężyste oraz plastyczne w warstwach przypowierzchniowych stykających się metali oraz podwyższona temperatura. Hipoteza energetyczna wskazuje, że skłonność do szepień będzie występowała przy odpowiednio dużym wzroście energii atomów sieci krystalicznej (poniżej temperatury rekrystalizacji), któremu sprzyja odkształcenie plastyczne, wzrost temperatury, naprężenia ściskające i promieniowanie. Uwzględniając powyższe hipotezy oraz doświadczenie badawcze, można więc stwierdzić, że stopy żelaza należą do materiałów odznaczających się dużą skłonnością do szepiania [L. 6].

W wyniku oddziaływania tribologicznego w warstwie wierzchniej elementów ze stopów żelaza, mogą powstawać nowe fazy wynikające z przekroczenia temperatury przemiany austenicznej. Zjawiskiem związanym [L. 7] z tą przemianą jest tworzenie się tzw. białej warstwy. Przegląd teorii dotyczących mechanizmu tworzenia się białej warstwy w wyniku obróbki ubytkowej przedstawiony został w pracy [L. 8]. Główna hipoteza zaproponowana już w 1944 roku [L. 9] głosi, że składnikiem białej warstwy jest przede wszystkim nieodpuszczony martenzyt powstały z austenitu utworzonego w wyniku nagrzania powyżej temperatury Ac_3 . Podstawowe założenia takiej koncepcji są podtrzymywane m.in. w pracach [L. 10–14]. Teorię tę wydaje się potwierdzać wzrost udziału austenitu szcążkowego w białej warstwie w odniesieniu do materiału rodzimego [L. 14]. Osiągnięcie tak wysokiej temperatury (powyżej Ac_3) podczas oddziaływania tribologicznego, wg autorów pracy [L. 15], wydaje się trudne. Trudno jednak inaczej wytłumaczyć wyniki badań, które wskazują na główny udział austenitu w strukturze białej warstwy [L. 16]. Jednakże w oparciu o obserwacje wskazujące na bardzo drobne ziarno [L. 17–26] w obszarze białej warstwy formułowana jest koncepcja, że jej powstanie jest związane z intensywnym odkształceniem plastycznym oraz procesami dynamicznego zdrowienia lub rekrystalizacji [L. 8]. Przedstawione w pracy [L. 27] wyniki badań nad białą warstwą powstałą na skutek oddziaływania tribologicznego oraz ich dyskusja wskazują, że należałoby nią nazywać trudno trawiącą się warstwę wierzchnią materiału, charakteryzującą się wielką (powyżej 800 HV) twardością oraz dużą kruchością utworzoną w wyniku bardzo szybkiego nagrzania do wysokich temperatur (odpowiadających zakresowi istnienia austenitu – powyżej Ac_{1f} , a zwłaszcza powyżej Ac_3 dla stopów podeutektoidalnych lub powyżej temperatury Ac_{1f} dla stopów eutektoidalnych, nadeutektoidalnych i podeutektycznych), któremu towarzyszy bardzo silne odkształcenie (zdefektowanie) struktury krystalicznej, a następnie natychmiastowe oziębienie, zwykle do temperatury otoczenia, w wyniku którego dochodzi do przemiany martenzytycznej w tej silnie zdefektowanej (bez procesów zdrowienia, a zwłaszcza rekrystalizacji) strukturze austenitu. Taki mechanizm tworzenia się białej warstwy na etapie występowania w niej struktury austenicznej może skłaniać do założenia moż-

liwości powstawania połączenia adhezyjnego tej struktury ze strukturą austenityczną materiału, który występuje z nią w kontakcie tribologicznym.

Powyższe, prezentowane w literaturze, koncepcje związane z połączeniem adhezyjnym oraz tworzeniem się szczepień wraz z koncepcją mechanizmu tworzenia się białej warstwy (austenitowania materiału narzędzia przed jej utworzeniem) skłoniły do poszukiwania ich potwierdzenia w przypadku wyników badań zjawiska nalepiania na powierzchni narzędzi oraz osprzętu podczas kształtowania stali na gorąco. Dlatego w niniejszej pracy objęto badaniami metalograficznymi powierzchnie walców hutniczych używanych przy walcowaniu elementów stalowych na gorąco celem poszukiwania przypadków współistnienia ww. zjawisk nalepiania i tworzenia się białej warstwy.

MATERIAŁ DO BADAŃ ORAZ METODOLOGIA BADAŃ

Materiał badawczy pobrano z sześciu roboczych walców hutniczych wykonanych z dwóch stali, trzech staliw oraz żeliwa o składach chemicznych podanych w **Tabeli 1**. Mikrostruktury tych tworzyw zostały zamieszczone na **Rys. 1**. Powiększenia mikrostruktur wybrano tak, aby pozwalały na zaprezentowanie cech morfologicznych składników strukturalnych w tych bardzo zróżnicowanych pod tym względem materiałach.

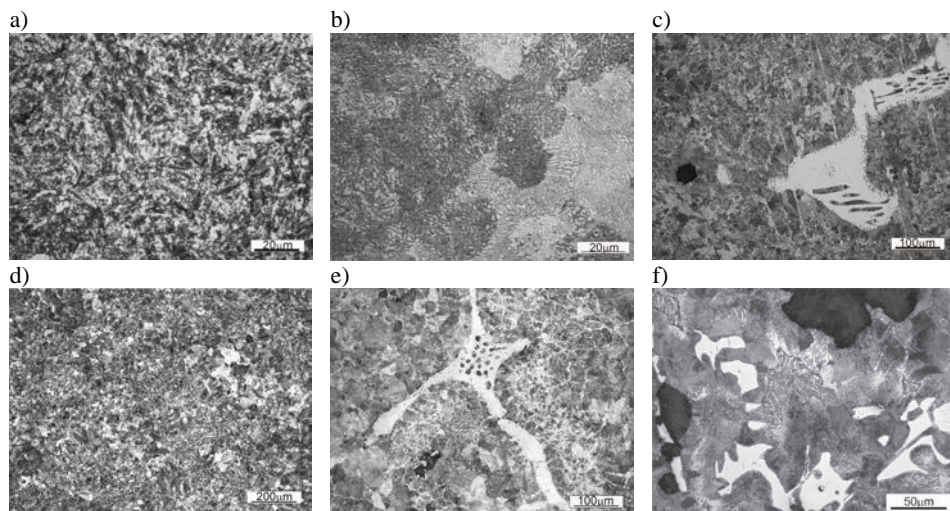
Tabela 1. Skład chemiczny (% masowy) badanych materiałów

Table 1. Chemical composition (weight %) of investigated materials

Nr walca	Materiał	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	V
1	35MnCrMoV8-6	0,37	1,93	0,35	0,014	0,003	1,60	0,09	0,43	0,123
2	75MnV3-12	0,74	0,61	0,49	0,011	0,011	0,09	0,06	0,16	0,119
3	G200NiSiCr8-4-4	1,99	0,80	1,30	0,022	0,019	1,24	1,81	0,35	–
4	G120CrNiMo4-3-3	1,22	0,73	0,51	0,030	0,022	0,99	0,47	0,42	0,022
5	G200SiCrNi4-4	2,00	0,70	1,12	0,027	0,025	0,84	0,51	0,33	0,020
6	GJSL– –320NiSiCrMo14– –8-3	3,24	0,56	1,98	0,070	0,011	0,66	3,54	0,63	–

W oparciu o przedstawione we wprowadzeniu teorie powstawania szczepień adhezyjnych oraz tworzenia się białej warstwy do rozważań wybrano walce hutnicze z materiałów, które powinny charakteryzować się różną skłonnością do powstawania austenitu w warstwie wierzchniej w wyniku oddziaływań cieplnych:

- Walec nr 1 o mikrostrukturze odpuszczonego bainitu – stal podeutektoidalna, dla której przekroczenie temperatury $Ac_{1f} = 780^{\circ}C$ powoduje tworzenie się austenitu (współistniejącego z ferrytem) oraz temperaturze $Ac_3 = 810^{\circ}C$, powyżej której występuje już jedynie austenit.



Rys. 1. Mikrostruktura badanych walców hutniczych: a) walec nr 1, b) walec nr 2, c) walec nr 3, d) walec nr 4, e) walec nr 5, f) walec nr 6. Traw. 2% nital

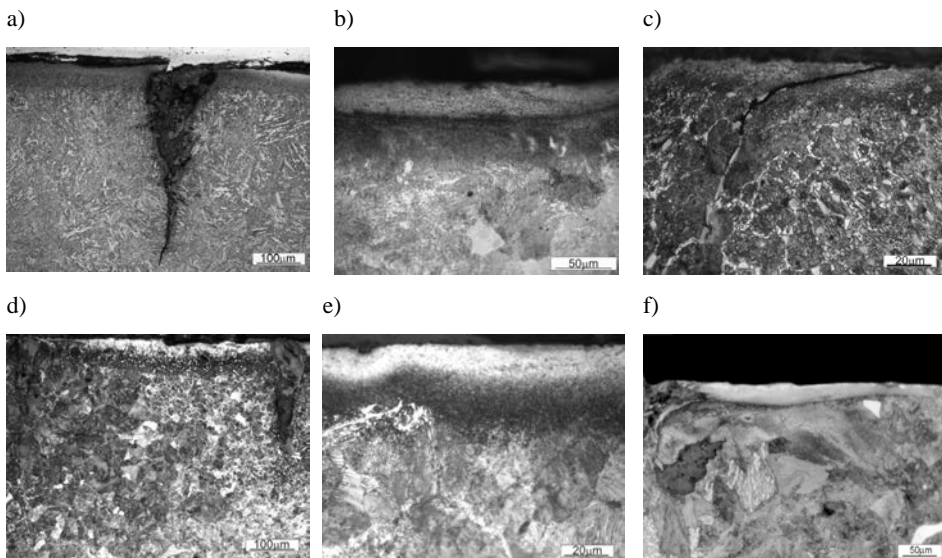
Fig. 1. Microstructure of investigated mill rolls: a) roll no. 1, b) roll no. 2, c) roll no. 3, d) roll no. 4, e) roll no. 5, f) roll no. 6. Etched with 2% nital

- Walec nr 2 o mikrostrukturze perlitycznej, w której przekroczenie temperatury $Ac_{1f} = 770^{\circ}\text{C}$ powoduje że występuje już tylko austenit.
- Walec nr 3 o mikrostrukturze charakterystycznej dla tworzyw podeutektycznych, tj. złożonej z osnowy perlitycznej z wydzieleniami cementytu drugorzędowego (również w układzie Widmannstättena) oraz ledeburytu (eutektyka węglkowa) przemienionego (składającego się z cementytu ledeburytycznego oraz perlitu) jak i niewielkich ilości grafitu. Temperatura Ac_{1f} dla tego tworzywa wynosi 750°C , po przekroczeniu której występować będzie austenit, ale ze współistnieniem cementytu drugorzędowego oraz cementytu ledeburytycznego.
- Walec nr 4 o mikrostrukturze charakterystycznej dla tworzywa nadeutektydalnego, w którego mikrostrukturze występują wydzielania sferoidalnego cementytu drugorzędowego w osnowie perlitycznej – temperatura $Ac_{1f} = 765^{\circ}\text{C}$ oraz Ac_{cm} wynosi ok. 880°C .
- Walec nr 5 o mikrostrukturze podobnej jak w przypadku walca nr 3, z tym że bez wydzielenia grafitu oraz cementytu drugorzędowego wydzielonego w układzie Widmannstättena. Występują w jego mikrostrukturze obok ledeburytu przemienionego, również sferoidalne wydzielania cementytu drugorzędowego po granicach ziarn byłego austenitu wtórnego. Dla tego tworzywa temperatura $Ac_{1f} = 785^{\circ}\text{C}$.

- Walec nr 6 wykonano z żeliwa pstrego (połowicznego) o mikrostrukturze złożonej z bliskich sferoidalności wydzielenia grafitu, cementytu ledeburyticznego oraz osnowy złożonej z wyraźnie rozdzielonych obszarów perlitycznych i bainitycznych. Temperaturę Ac_{1f} dla tego tworzywa oceniono jako $775^{\circ}C$. Powyżej tej temperatury obok austenitu będzie również występował grafit jak i cementyt ledeburytyczny.

WYNIKI BADAŃ I ICH DYSKUSJA

Analizując warstwę wierzchnią walców hutniczych, można stwierdzić lokalne występowanie w jej obszarze białej warstwy (**Rys. 2**). Potwierdzeniem, że jasno trawiące się obszary są białą warstwą (a nie obszarami odwęglonymi, obszarami austenitu lub nalepieniami), jest zmierzona w ich obszarze wysoka twardość: walec nr 1 – 1250 HV_{0,01}; walec nr 2 – 920 HV_{0,01}; walec nr 3 – 1190 HV_{0,01}; walec nr 4 – 1160 HV_{0,01}; walec nr 5 – 1170 HV_{0,01} oraz walec nr 6 – 1400 HV_{0,01}. Podobnie na powierzchni takich walców obserwowane są również nalepienia materiału walcowanego (**Rys. 3**). Oba te zjawiska występują znacznie częściej w przypadku stalowych walców hutniczych w odróżnieniu od walców staliwnych (wykonanych ze staliwa nadeutektoidalnego lub podeutektycznego) oraz walców żeliwnych (wykonanych z żeliwa połowicznego) [**L. 27**].

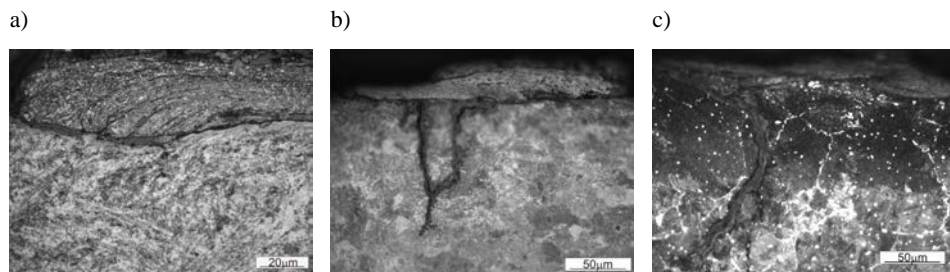


Rys. 2. Biała warstwa w obszarze warstwy wierzchniej walców hutniczych: a) walec nr 1, b) walec nr 2, c) walec nr 3, d) walec nr 4, e) walec nr 5, f) walec nr 6. Traw. 2% nital

Fig. 2. White layer in the surface area of working mill rolls: a) roll no. 1, b) roll no. 2, c) roll no. 3, d) roll no. 4, e) roll no. 5, f) roll no. 6. Etched with 2% nital

Z tego względu, związku pomiędzy tworzeniem się białej warstwy a powstawaniem nalepień poszukiwano zwłaszcza w przypadku stalowych walców hutniczych. Na **Rys. 4a–e** przedstawiono przykłady współistnienia nalepień i białej warstwy na powierzchni po eksploatacji stalowego walca hutniczego nr 1. Podobne przykłady obserwowano również w przypadku stalowego walca hutniczego nr 2 (**Rys. 4f, g**). Udało się jednak zaobserwować przykład współistnienia białej warstwy i nalepienia w przypadku staliwnego walca nr 4 (**Rys. 4h**) oraz z walca żeliwnego nr 6 (**Rys. 4i**).

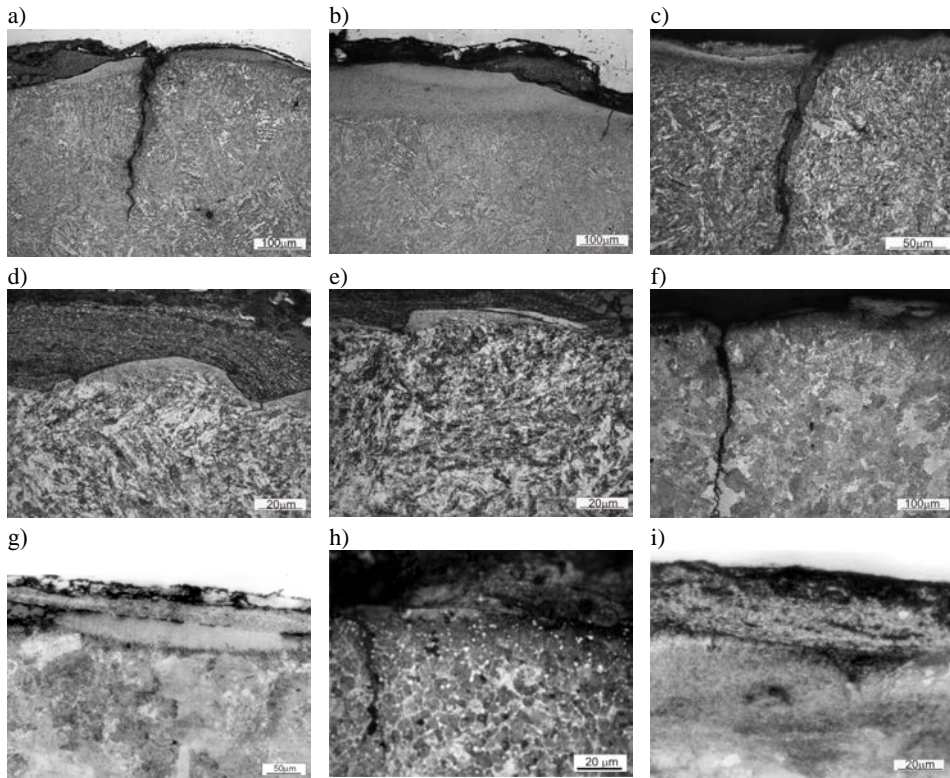
Wcześniej prezentowane przykłady wskazują, że nie w każdym przypadku gdy występuje nalepienie lub biała warstwa, można taką zależność zaobserwować. Oszacowano, że biała warstwa jest widoczna w pobliżu nalepienia w ok. 49% przypadków obserwowanych nalepień, natomiast nalepienie obserwowano w ok. 53% przypadków zaobserwowania białej warstwy na powierzchni stalowego walca nr 1. W przypadku stalowego walca nr 2 oszacowano, że biała warstwa jest widoczna w pobliżu nalepienia w ok. 17% przypadków obserwowanych nalepień oraz nalepienie obserwowano również w ok. 17% przypadków zaobserwowania białej warstwy. Jak widać, współistnienie białej warstwy i nalepienia jest wyraźnie częstszym zjawiskiem w przypadku walca nr 1. W tym przypadku częstość współistnienia tych dwóch zjawisk świadczy o istnieniu pomiędzy nimi interakcji.



Rys. 3. Nalepienia materiału walcowanego na powierzchni walców hutniczych: a) nr 1, b) nr 2, c) nr 4. Traw. 2% nital

Fig. 3. Sticking of the rolled material on the surface of working mill rolls: a) no. 1, b) no. 2, c) no. 4. Etched with 2% nital

Brak obszarów trudnotrawiących się pod nalepieniem (białej warstwy) nie wyklucza jednak tego, że pierwotne połączenie adhezyjne (szczepienie) wystąpiło pomiędzy zaustenityzowaną warstwą wierzchnią a materiałem walcowanym (nagrzanym przed walcowaniem do zakresu austenitycznego). Istnieje możliwość, że nalepiona warstwa zmniejsza szybkość oziębiania zdefektowanego austenitu na tyle, że zdążą zajść procesy dyfuzyjne i biała warstwa się nie utworzy. Możliwym jest również, że występująca pod nalepieniem biała warstwa ulega silnemu odpuszczeniu w wyniku dalszej pracy walca.



Rys. 4. Nalepienia materiału walcowanego w miejscu austenityzowania warstwy wierzchniej (biała warstwa) na powierzchni: a–e) walca hutniczego nr 1, f, g) walca hutniczego nr 2, h) walca hutniczego nr 4, i) walca hutniczego nr 6. Traw. 2% nital

Fig. 4. Sticking of the rolled material on the surface of working mill roll in the place of its surface area austenitizing (white layer formation): a–e) roll no. 1, f, g) roll no. 2, h) roll no. 4, h) roll no. 6. Etched with 2% nital

WNIOSKI

Występuje powiązanie pomiędzy zjawiskiem tworzenia się białej warstwy a powstawaniem nalepień. Wynika ono głównie z ułatwionego połączenia adhezyjnego pomiędzy zaustenityzowaną warstwą wierzchnią narzędzia oraz austenitem stali przerabianej plastycznie na gorąco. Ograniczenie występowania tego zjawiska może więc być realizowane przez zmniejszenie skłonności do powstawania w warstwie wierzchniej narzędzia (walca hutniczego) struktur tylko austenitycznych. Można to uzyskać przez projektowanie składu chemicznego tworzywa tak, aby podnieść zakres występowania temperatury Ac_{1f} , Ac_3 (w przypadku tworzyw podutektoidalnych) oraz Ac_{cm} w przypadku tworzyw nadeutektoidalnych. Dlatego z praktycznego punktu widzenia korzystnym jest zastosowanie wysokowęglowych – nie tylko nadeutektoidalnych, ale nawet

podeutektycznych – staliw stopowych na walce hutnicze. W tym przypadku, jeśli w warstwie wierzchniej będzie tworzyć się austenit, to będzie on współistniał z węglnikami drugorzędowymi, a w przypadku materiałów podeutektycznych również z wydzieleniami pierwotnego cementytu ledeburytycznego. Tezę tę potwierdza porównanie częstości występowania białej warstwy oraz nalepień na powierzchni walców stalowych z stali podeutektoidalnej, eutektoidalnej oraz staliw nadeutektoidalnych i podeutektycznych.

Podziękowania

Praca finansowana przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, wykonana w ramach grantu nr PBS2/B5/25/2013 „Opracowanie innowacyjnej technologii wytwarzania wielkotonażowych walców o zwiększonej trwałości eksploatacyjnej”.

LITERATURA

1. Płaza S., Margielewski L., Celichowski G.: Wstęp do tribologii i tribochemia, Wyd. Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź 2005.
2. Lawrowski Z.: Tribologia. Tarcie, zużywanie i smarowanie, Wyd. II, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2009.
3. Hutchings I.M.: Tribology, friction and wear of engineering materials, Ed. Arnold, London 1992.
4. Łuksza J.: Elementy cięgarstwa, Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków 2001.
5. Szczerek M., Tuszyński W.: Badania tribologiczne, zacieranie, Biblioteka Problemów Eksploatacji, Wyd. Instytutu Technologii Eksploatacji, Radom 2000.
6. Hebda M., Wachal A.: Trybologia, WNT, Warszawa 1980.
7. Pacyna J., Krawczyk J.: Warunki powstawania i własności białej warstwy, Hutnik Wiadomości Hutnicze 72, 2005, 545–553.
8. Barbacki A., Józwiak K., Dynak K.: Biała warstwa – próba definicji, warunki powstawania, właściwości, Inżynieria Materiałowa 153, 2006, 862–867.
9. Zener C., Hollomon J.H.: Effect of strain rate upon plastic flow of steel, Journal of Applied Physics 15, 1944, 22–32.
10. Glenn R.C., Leslie W.C.: The nature of “white streaks” in impacted armor steel plate, Metallurgical Transactions 2, 1971, 294–2947.
11. Field M., Kahles J.F., Koster W.P.: Surface finish and surface integrity, Metals Handbook (Machining) 16, ASM International, Metals Park Ohio, 1989, 19–36.
12. Shaw M.C., Vyas A.: Heat affected zones in grinding steel, Annals of the CIRP 43, 1994, 279–282.
13. Abrao A.M., Aspinwall D.K.: The surface integrity of turned and ground hardened bearing steel, Wear 196, 1996, 279–284.
14. Chou Y.K., Evans C.J.: Process effects on white layer formation in hard turning, Transactions of the North American Manufacturing Research Institute of Society of Manufacturing Engineers 26, 1998, 117–122.
15. Snoyes R., Maris M., Peters J.: Thermally induced damage in grinding, Annals of the CIRP 27, 1978, 571–581.

16. Tonshoff H.K., Wobker H.G., Brandt D.: Tool wear and surface integrity in hard turning, *Production Engineering* 3, 1, 1996, 19–24, [144, 174, 175, 193, 198, 199, 240, 250–252].
17. Wang Y., Lei T., Liu J.: Tribo-metallographic behavior of high carbon steels in dry sliding. III. Dynamic microstructural changes and wear, *Wear* 231, 1999, 20–37.
18. Akcan S., Shah S., Moylan S.P., Chhabra P.N., Chandrasekar S., Yang H.T.Y.: Formation of white layers in steels by machining and their characteristics, *Metalurgical and Materials Transactions A* 33, 2002, 1245–1254.
19. Barry J., Byrne G.: TEM study on the surface white layer in two turned hardened steels, *Materials Science and Engineering A* 325, 2002, 356–364.
20. Lojkowski W., Djahanbakhsh M., Bürkle G., Gierlotka S., Zielinski W., Fecht H.-J.: Nanostructure formation on the surface of railway tracks, *Materials Science and Engineering A* 303, 2001, 197–208.
21. Österle W., Rooch H., Pyzalla A., Wang L.: Investigation of white etching layers on rails by optical microscopy, electron microscopy, X-ray and synchrotron X-ray diffraction, *Materials Science and Engineering A303*, 2001, 150–157.
22. Zhang H.W., Ohsaki S., Mitao S., Ohnuma M., Hono K.: Microstructural investigation of white etching layer on pearlite steel rail, *Materials Science and Engineering A* 421, 2006, 191–199.
23. 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, 21–25.
24. Baumann G., Fecht H., Liebelt S.: Formation of white-etching layers on rail treads, *Wear* 191, 1996, 133–140.
25. Baumann G., Knothe K., Fecht H.: Surface modification, corrugation and nanostructure formation of high speed railway tracks, *Nanostructured Materials* 9, 1997, 751–754.
26. Ramesh A., Melkote S.N., Allard L.F., Riester L., Watkins T.R.: Analysis of white layers formed in hard turning of AISI 52100 steel, *Materials Science and Engineering A* 390, 2005, 88–97.
27. Krawczyk J.: Rola mikrostruktury w tribologicznym zużyciu stopów żelaza, *Rozprawy, Monografie* 274, Wydawnictwa AGH, Kraków 2013.

Summary

The work characterizes the phenomenon of the formation of the “white layer” on the surface of tools used for the hot forming process of steel. It describes the structural factors of iron alloy tools that favour plastically hot-processed steel being glued to them. The work points to examples of a co-existence of the white layer and the glued steel. The mechanism of white layer formation was assumed as a factor favouring the adhesive connection of the tool and the hot-formed steel. The interaction between the austenitic micro-areas was indicated as the main cause of the adhesive connection under the mentioned conditions.