

**Aneta ŁUKASZEK-SOŁEK\***, **Janusz KRAWCZYK\***,  
**Sylvia BEDNAREK\***, **Jan SIŃCZAK\***, **Tomasz ŚLEBODA**,  
**Piotr BAŁA\***

## **CHARAKTERYSTYKA ZUŻYCIA STEMPLA PODCZAS WYCISKANIA STALOWYCH ELEMENTÓW**

### **THE CHARACTERISTICS OF THE WEAR OF THE STAMP USED IN BACKWARD EXTRUSION OF STEEL ELEMENTS**

#### **Słowa kluczowe:**

zużycie, tribologia, modelowanie numeryczne, wyciskanie przeciwbieżne, stal narzędziowa

#### **Key words:**

wear, tribology, numerical modeling, backward extrusion, tool steel

#### **Streszczenie**

W pracy opisano mechanizm zużycia stempla wykonanego ze stali 32CrMoV12-28 używanego do wyciskania bufora zderzaka kolejowego. Stempel ten uległ pęknięciu, które wyeliminowało go z dalszej eksplo-

---

\* 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.

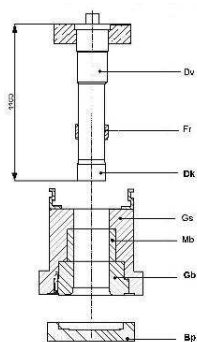
atacji. Wykonano charakterystykę materiałową stempla i określono jej wpływ na mechanizm zużycia w odniesieniu do jego warunków pracy. Do powyższej analizy wykorzystano obliczenia numeryczne współczynnika zużycia. Wyniki badań wskazują na istotną rolę tworzenia się tzw. białej warstwy w mechanizmie zużycia tribologicznego oraz inicjacji pęknięcia. Określono rolę mikrostruktury w rozwoju pęknięcia. Wyniki badań pozwolą na dobór lub zaprojektowanie nowych materiałów narzędziowych na tego typu elementy pracujące w szczególnie trudnych tribologicznie warunkach.

## WPROWADZENIE

Trwałość narzędzi kuźniczych ma znaczący wpływ na wielkość kosztów produkcji odkuwek oraz na ich jakość. Szacuje się, że koszt oprzyrządowania stanowi 11% jednostkowego kosztu wytwarzania [L. 1]. Obniżenia tych kosztów można dokonać na drodze modyfikacji warunków kucia oraz modyfikacji materiału, z którego wykonano narzędzie. Modyfikacja procesu kucia wymaga wykonania symulacji numerycznych dotychczas stosowanego procesu [L. 1–4]. Natomiast modyfikacja materiału narzędzia wymaga wcześniejszych badań mechanizmów jego zużycia w stosowanych warunkach jego pracy [L. 5–7]. Najlepsze jednak efekty powinno dać połączenie tych dwóch dróg oceny warunków pracy danego narzędzia. Takie kompleksowe podejście do zagadnienia zużycia narzędzi stosowanych przy produkcji elementów zderzaka kolejowego stało się celem niniejszej pracy.

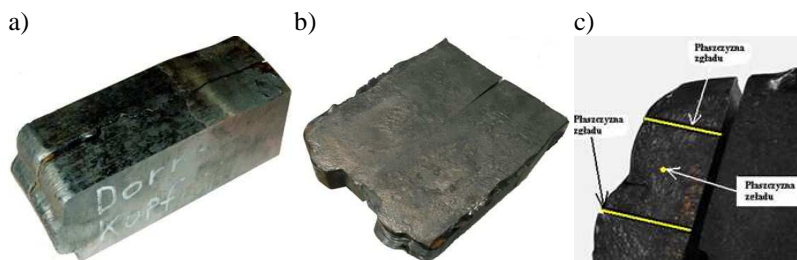
## MATERIAŁ DO BADAŃ

Materiał do badań pobrano ze zużytego stempla matrycy, który pracował przy produkcji bufora zderzaka kolejowego (**Rys. 1**). Pobrano do badań fragment stempla oraz sposób wykonania zglądów metalograficznych przedstawiono na **Rys. 2**. Odkuwki bufora ze stali S355JR produkowano z materiału wsadowego wstępnie spęczonego, a następnie wyciskanego na gotowo w matrycach dzielonych (1 operacja wyciskania). Czas chłodzenia narzędzia wynosił 5 s a temperatura wsadu wynosiła ok. 1250°C. Matryca była nagrzewana wstępnie do 350–450°C. Podczas wyciskania stosowano smar na bazie grafitu.



**Rys. 1. Schemat matrycy, Dk – fragment poddany badaniom**

Fig. 1. The cross-section of the die, Dk – the investigated part of the die



**Rys. 2. Miejsce i sposób pobrania materiału do badań: a) fragment zużytego stempla, b) fragment z rys. a po rozłożeniu wzdłuż pęknięcia, c) sposób pobrania próbek do badań metalograficznych**

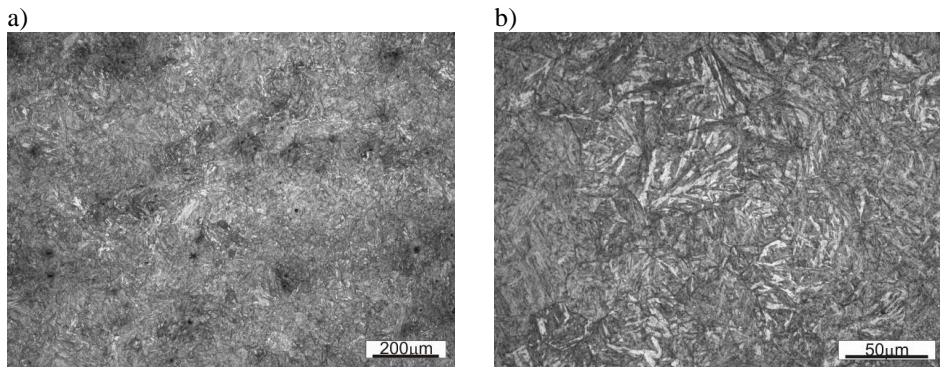
Fig. 2. The material used for investigations: a) a part of the used stamp, b) the surface of the fracture of the stamp, c) the area of the stamp subjected to the metallographic investigations

Stempel został wykonany ze stali 32CrMoV12-28 o składzie chemicznym zamieszczonym w **Tabeli 1**. Mikrostrukturę materiału rodzimego stempla przedstawiono na **Rys. 3**. Składa się ona z odpuszczonego martenzytu z wydzieleniami węglików stopowych. Twardość tego materiału wynosi 413 HV30.

**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



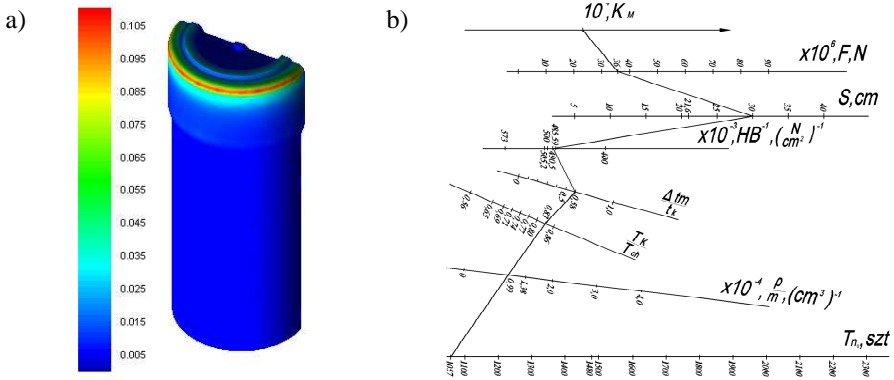
**Rys. 3. Mikrostruktura badanego stempla. Traw. 2% nital**

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

### WYNIKI SYMULACJI NUMERYCZNYCH PRACY STEMPLA

Obliczenia numeryczne wykonano programem komercyjnym QForm3D. Model tarcia w programie opisany jest prawem Levanova [L. 1]. Oszacowanie wartości powierzchniowego zużycia  $W$  stempla dokonano w oparciu o obliczenia [L. 8] przy założeniu, że moc siły tarcia podczas odkształcenia plastycznego wsadu jest równa mocy odkształcenia plastycznego warstwy adhezji, która jest usuwana w procesie odkształcania. Wyniki uzyskane dzięki obliczeniom numerycznym pracy stempla, przy uwzględnieniu odpuszczającego działania ciepła przy przemieszczeniu materiału na powierzchni narzędzia oraz lokalnie występującej siły nacisku, przedstawiono na **Rys. 4a**. Należy zaznaczyć, że wyznaczony numerycznie wskaźnik zużycia narzędzi został wyskalowany na podstawie statystycznych danych zużycia uzyskanych z praktyki przemysłowej. Największe wartości zużycia stwierdzono między czołem a powierzchnią boczną stempla (na promieniu zaokrąglenia) ( $W = 0,1 \mu\text{m}$ ).

Zastosowanie równania trwałości oczekiwanej narzędzi w procesie wyciskania przeciwbieżnego odkuwki bufora zderzaka kolejowego [L. 4] umożliwia sporządzenie nomogramu, który w sposób graficzny wyznacza oczekiwaną trwałość narzędzi ( $T_{n_o}$ ) przy znanej sile  $F$  w warunkach przemysłowych. Dla analizowanej odkuwki wyliczona trwałość narzędzi wynosi 1057 sztuk (**Rys. 4b**).



**Rys. 4. Wskaźnik zużycia: a) na powierzchni stempla ( $\mu\text{m}$ ), b) nomogram oczekiwanej trwałości narzędzi ( $T_{n_o}$ ) dla odkuwki bufora**

**Fig. 4. Die wear factor: a) of top tool (stamp) ( $\mu\text{m}$ ), b) nomogram of expected tool lifetime ( $T_{n_o}$ ) in the backward extrusion process of railway buffer box**

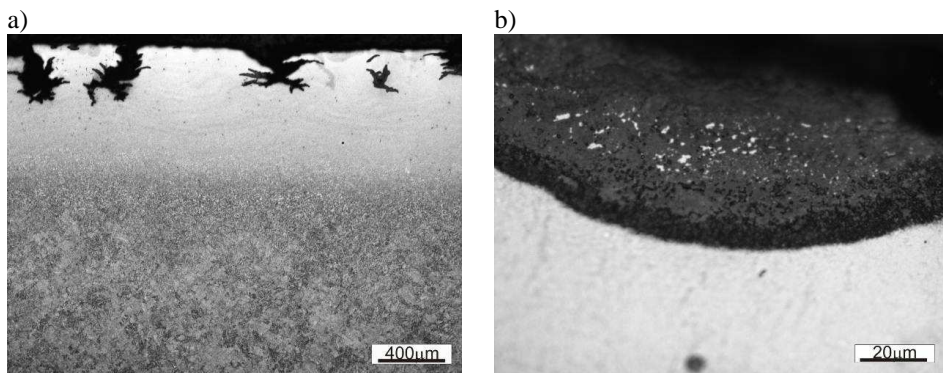
**WYNIKI BADAŃ METALOGRAFICZNYCH**

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**). Początkowy rozwój pęknięcia odbywa się pod niewielkim kątem w stosunku do powierzchni roboczej. Dopiero wtórne pęknięcia ukierunkowują się równoległe do osi stempla. 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.



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

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



**Rys. 6. Mikrostruktura w warstwie wierzchniej stempla: a) biała warstwa, b) warstwa utleniona. Traw. 2% nital**

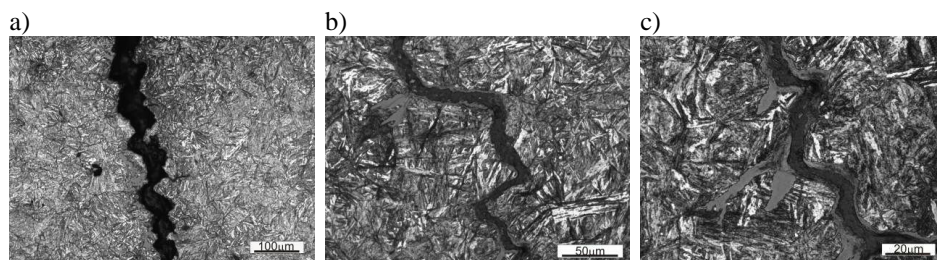
**Fig. 6. Microstructure of the top surface of the stamp: a) white etching layer, b) oxidized layer. Etched with 2% nital**

Analiza mikrostruktury w warstwie przypowierzchniowej (**Rys. 6a**), pozwoliła na zaobserwowanie tworzenia się tzw. białej warstwy [**L. 9**]. Świadczy to o nagrzewaniu się warstwy wierzchniej stempla do temperatury na pewno wyższej od  $790^{\circ}\text{C}$  (temperatura  $A_{c1s}$  dla badanej stali), ale raczej wyższej od  $880^{\circ}\text{C}$  (temperatura  $A_{c1f}$  dla badanej stali), a więc do zakresu występowania austenitu [**L. 10**].

W wyniku oddziaływania cieplnego w warstwie wierzchniej zachodzi również intensywne utlenianie (**Rys. 6b**). Dla takiego efektu wystarczy, aby warstwa wierzchnia osiągnęła temperaturę wyższą od  $560^{\circ}\text{C}$ , czyli temperatury tworzenia się wüstytu. Wüstyt ( $\text{FeO}$ ) jest tlenkiem, który ze względu za swoją stechiometrię ułatwia proces utleniania. Należy jednak zwrócić uwagę, że badana stal zawiera odpowiednią ilość chromu, która powinna wystarczyć do ograniczenia tego typu zużycia warstwy wierzchniej.

Ponieważ główną przyczyną wycofania stempla z jego dalszej eksploatacji było pęknięcie biegnące równoległe do osi stempla (pęknięcie, które należy wiązać ze zmęczeniem cieplnym lub cieplno-mechanicznym badanego elementu matrycy) istotnym jest określenie drogi rozwoju tego pęknięcia w mikrostrukturze rodzimej stempla. Analiza rozwoju pęknięcia w płaszczyźnie powstałego przełomu jest utrudniona ze względu na zniszczenie pierwotnego jego charakteru w wyniku dalszej eksploatacji lub też zanieczyszczenia, które nastąpiło zanim badany element został dostarczony do badań. Dlatego optymalnym jest prowadzenie analizy

tego zagadnienia w obszarze pęknięcia, które powstało, a następnie rozwijało się w materiale rodzimym, ale nie doprowadziło do przelomu. Obszar taki został przedstawiony na **Rys. 7**. Rozwój pęknięcia zachodzi w dużej części po granicach ziarn byłego austenitu lub wzdłuż listew martenzytu. W związku z powyższym ograniczenie skłonności badanego materiału do tego typu pęknięć powinno polegać na optymalnym projektowaniu obróbki cieplnej, a zwłaszcza temperatury odpuszczania tak, aby zapobiec wydzielaniu się złożonych węglików stopowych na granicach ziarn byłego austenitu. Można zaobserwować, że proces rozwoju pęknięcia wspomagany jest przez utlenianie ukierunkowane raczej wzdłuż kierunków krystalograficznych niż wzdłuż granic ziarn byłego austenitu (**Rys. 7c**).



**Rys. 7. Droga rozwoju pęknięcia w materiale rodzimym stempla. Traw. 2% nital**

Fig. 7. The development of crack in the microstructure of the stamp. Etched with 2% nital

## WNIOSKI

Wykonane w niniejszej pracy badania oraz obliczenia numeryczne wskazują na potrzebę skorygowania danych wyjściowych dla symulacji zużycia ze względu na stwierdzone austenitowanie się warstwy wierzchniej narzędzia. Twierdzenie to wynika z zaobserwowanej białej warstwy. Istotnym wydaje się również uwzględnienie własności smarnych wüstytu. Pomimo ww. możliwości korekty danych wyjściowych, zastosowana symulacja dobrze określa miejsce najintensywniejszego zużycia narzędzia. Natomiast dla ograniczenia skłonności do powstania pęknięć stempla należy zweryfikować możliwości obróbki cieplnej stali, z której wykonano badane narzędzie. Wykonane w niniejszej pracy badania powinny posłużyć dla takiej modyfikacji lub doboru nowego materiału na analizowane narzędzie.

## Podziękowania

*Mgr inż. B. Bojarskiej dziękujemy 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. Łukaszek-Sołek A., Sińczak J., Bednarek S.: Wpływ tarcia na rozkład odkształceń oraz trwałość narzędzi w procesie wyciskania przeciwbieżnego – modelowanie numeryczne, *Obróbka Plastyczna Metali* 18, 4 (2007), s. 11–18.
2. Kang J.H., Park I.W., i in.: A study on a die wear model considering thermal softening: (I) application of the suggested wear model, *J. Mater. Process. Technol.* 94 (1999), s. 183–188.
3. Łukaszek-Sołek A., Sińczak J., Bednarek S.: Advanced estimation of tool life in backward extrusion by means of FEM simulation, *Metal Forming* 2 (2008), s. 1–6.
4. Sińczak J., Łukaszek-Sołek A., Bednarek S.: Ocena trwałości narzędzi w procesie wyciskania elementów ciąglowych i zderzakowych na przykładzie zderzaka kolejowego, *Mechanik* 8-9 (2008), s. 695–698.
5. Krawczyk J.: Strukturalne przyczyny mechanizmów wadliwego zużywania się żeliwnych walców hutniczych, *Tribologia* 212, 2 (2007), s. 353–366.
6. Krawczyk J.: Zjawiska tribologiczne zachodzące na powierzchni czopów żeliwnych walców hutniczych, *Tribologia* 219, 3 (2008), s. 17–26.
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. Biba N., Stebunov S., Muntinga H.: Increasing of tool life in cold forging by FEM simulation. [www.qform3d.com](http://www.qform3d.com). 20.06.2011.
9. Pacyna J., Krawczyk J.: Warunki powstawania i własności białej warstwy, *Hutnik – Wiadomości Hutnicze* 72, 11 (2005), s. 545–553.
10. Bojarska B.: Mechanizmy zużycia tribologicznego matryc do produkcji zderzaków kolejowych, praca dyplomowa-magisterska, prom. J. Krawczyk, AGH, Kraków, 2010.

**Recenzent:**  
**Józef GAWLIK**



## Summary

**This research is aimed at the analysis of wear mechanisms of 32CrMoV12-28 steel stamp used in extrusion of railway bumpers. The stamp cracked, which excluded it from further use. The analysis of the stamp material was performed and its influence on the wear mechanisms operating under working conditions of the stamp was analyzed. The calculations of the wear factor were also used in this research. The results of this research show that the white layer formation is a very important phenomenon, strongly influencing crack formation in the investigated stamp. The role of the microstructure of the analyzed stamp in the crack development was also investigated. The presented results will allow one to properly select or design new tool steels for the structural parts working under tribologically difficult conditions.**

