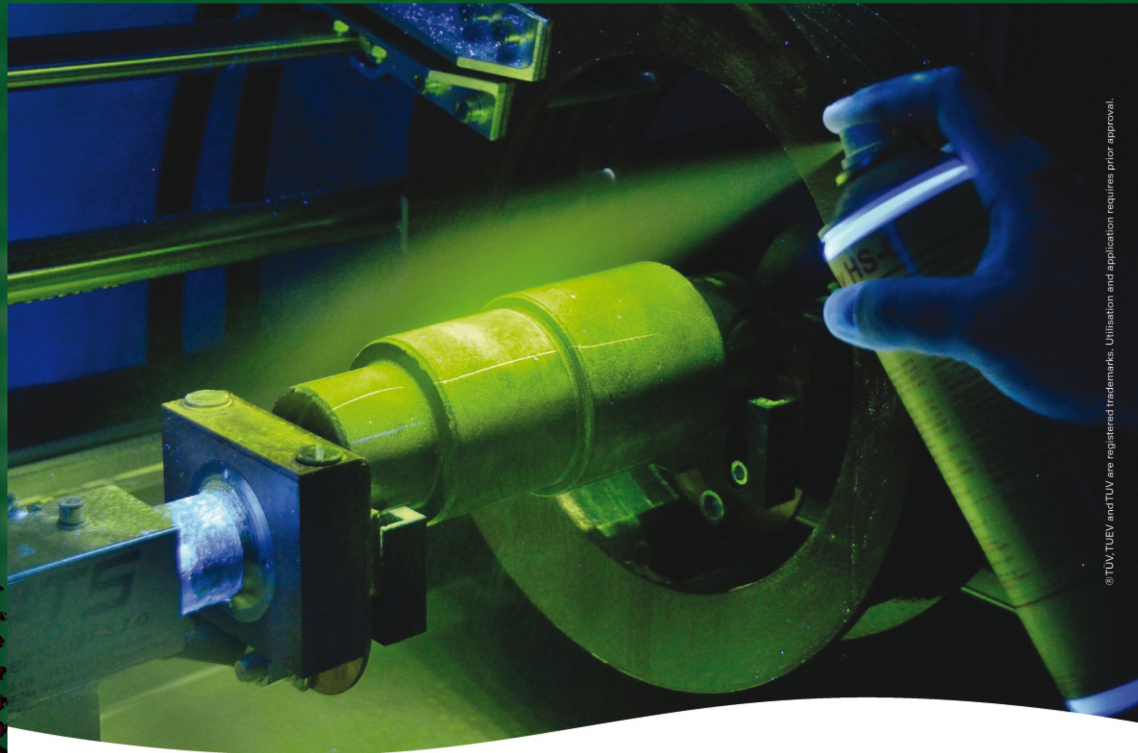


Badania Nieniszczące 1 - 4 / 2020 i Diagnostyka

Kwartalnik Naukowo-Techniczny

Nondestructive Testing and Diagnostics



© TÜV, TÜV and TÜV are registered trademarks. Utilisation and application requires prior approval.

Szkolenia, egzaminy
i certyfikacja personelu NDT



AC 195



VT



MT



PT



UT



RT



ET

NOWOŚĆ – SZKOLENIA DOFINANSOWANE!

www.tuv.pl

 **TÜVRheinland®**
Precisely Right.



Badania Nieniszczące i Diagnostyka
Agenda Wydawnicza SIMP
ul. Sabaly 11a, 71-341 Szczecin
e-mail: wydawnictwo@ptbnidt.pl
www.bnid.pl

ZESPÓŁ REDAKCYJNY / EDITORIAL BOARD

REDAKTOR NACZELNY / EDITOR-IN-CHIEF

Tomasz Chady

Z-CA REDAKTORA NACZELNEGO DS. NAUKOWYCH /

DEPUTE EDITOR-IN-CHIEF OF SCIENTIFIC AFFAIRS

Jerzy Nowacki

Z-CY REDAKTORA NACZELNEGO / DEPUTES EDITOR-IN-CHIEF

Adam Sajek

Ryszard Pakos

REDAKTORZY DZIAŁOWI / SECTION EDITORS

METODOLOGIA BADAŃ / RESEARCH METHODOLOGY

Dr Sławomir Mackiewicz, Dr Marek Śliwowski

CERTYFIKACJA W BADANIACH / CERTIFICATION IN RESEARCH

Mgr Bogdan Piekarczyk, Mgr Marta Wojas

URZĄDZENIA I SYSTEMY BADAŃ

/ EQUIPMENT AND SYSTEMS FOR RESEARCH

Dr Grzegorz Jezierski, Mgr Marek Lipnicki

PRAKTYKA PRZEMYSŁOWA BADAŃ

/ PRACTICE OF INDUSTRIAL RESEARCH

Dr Krzysztof Dragan, Mgr Darek Wojdała

DIAGNOSTYKA / DIAGNOSTICS

Dr Bogusław Ładecki,

MIĘDZYNARODOWA RADA PROGRAMOWA
INTERNATIONAL SCIENTIFIC COMMITTEE

Prof. Ryszard Sikora, *Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Przewodniczący/President*

Prof. Krishnan Balasubramaniam, *Indian Institute of Technology Madras, Chennai, India*

Prof. Alexander Balitskii, *National Academy of Science of Ukraine, Ukraine*

Prof. Gilmar F. Batalha, *University of Sao Paulo, Brasil*

Prof. Leonard J. Bond, *Iowa State University, USA*

Dr Pierre Calmon, *CEA, France*

Prof. Ermanno Cardelli, *Università degli Studi di Perugia, Italy*

Prof. Zhenmao Chen, *Xi'an Jiaotong University, China*

Prof. Leszek A. Dobrzański, *World Academy of Materials and Manufacturing Eng., Polska*

Dr Hubert Drzeniek, *AMIL Werkstofftechnologie GmbH, Germany*

Prof. Antonio Faba, *Università degli Studi di Perugia, Italy*

Prof. Nikolaos Gouskos, *University of Athens, Greece*

Mgr Paweł Grześkowiak, *UDT, Polska*

Prof. Jerzy Hoła, *Politechnika Wrocławska, Polska*

Prof. Jolanta Janczak-Rusch, *Empa, Switzerland*

Mgr Ryszard Jawor, *Ryszard Jawor Usługi NDT, Polska*

Dr Grzegorz Jezierski, *Politechnika Opolska, Polska*

Inż. Sławomir Józwiak, *NDT Systems, Polska*

Mgr Pablo Katchadjian, *National Atomic Energy Commission of Argentina, Argentina*

Mgr Jan Kielczyk, *Energomontaż-Północ, Polska*

Mgr Jacek Kozłowski, *TEST PLB, Polska*

Prof. Marc Kreutzbruck, *University of Stuttgart, Germany*

Dr. Jochen Kurz, *DB Systemtechnik GmbH, Germany*

Mgr Marek Lipnicki, *KOLI, Polska*

Prof. Leonid M. Lobanow, *Paton Welding Institute, Ukraine*

Dr Sławomir Mackiewicz, *NDT SOFT, Polska*

Dr Wojciech Manaj, *Instytut Lotnictwa, Polska*

Dr Tadeusz Morawski, *Usługi Techniczne i Ekonomiczne "Level", Polska*

Prof. Zinovy T. Nazarchuk, *National Academy of Science of Ukraine, Ukraine*

Dr Ryszard Nowicki, *GE Energy, Polska*

Prof. Mohachiro Oka, *Oita National College of Technology, Japan*

Dr Jolanta Radziszewska-Wolińska, *Instytut Kolejnictwa, Polska*

Prof. Helena Maria Geirinhas Ramos, *Instituto Superior Técnico, Portugal*

Prof. Joao M A Rebello, *Federal University of Rio de Janeiro, Brasil*

Prof. Artur Lopes Ribeiro, *Instituto Superior Técnico, Portugal*

Prof. Maria Helena Robert, *University of Campinas, Brasil*

Dr hab. Maciej Roskosz, *Politechnika Śląska, Polska*

Prof. Leonard Runkiewicz, *Instytut Techniki Budowlanej, Polska*

Prof. Krzysztof Schabowicz, *Politechnika Wrocławska, Polska*

Prof. Valentyn R. Skalskyy, *National Academy of Science of Ukraine, Ukraine*

Prof. Jacek Stania, *Instytut Spawalnictwa w Gliwicach, Polska*

Prof. Jacek Szelażek, *IPPT PAN, Polska*

Prof. Andrzej Szymański, *Politechnika Śląska, Polska*

Dr Marek Śliwowski, *NDTEST Warszawa, Polska*

Prof. Antonello Tamburrino, *University of Cassino and Southern Lazio, Italia*

Prof. Yuji Tsuchida, *Oita University, Japan*

Prof. Andrzej Tytko, *AGH Kraków, Polska*

Prof. Lalita Udpa, *Michigan State University, USA*

Prof. Gábor Vértesy, *Hungarian Academy of Sciences, Hungary*

Dr Grzegorz Wojas, *UDT, Polska*

Prof. Sławomir Wronka, *Narodowe Centrum Badań Jądrowych, Polska*

Prof. Chunguang Xu, *Beijing Institute of Technology, China*

Prof. Noritaka Yusa, *Tohoku University, Japan*

Badania Nieniszczące i Diagnostyka

Nondestructive Testing and Diagnostics

NR 1-4/2020

ISSN 2451-4462 (ONLINE: 2543-7755)

VOLUMEN 5

SPIS TREŚCI

Redakcja BNiD	
Słowo wstępne	2
Dariusz WOJDAŁA	
48. Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących	5
Gerd DOBMANN	
Quo Vadis NDT? – A Forecast of the Future*	6
Tadeusz STEPINSKI	
Badanie kotew kopalnianych przy użyciu fal prowadzonych*	18
Bogusław ŁADECKI	
Przedwczesne uszkodzenie zmęczeniowe wału ze stali nierdzewnej gatunku X46Cr13*	28
Przemysław ŁOPATO, Michał HERBKO	
Badanie wpływu mechanicznego odkształcenia metapowierzchni bazującej na komplementarnym rezonatorze pierścieniowym na jej właściwości rezonansowe w zakresie mikrofalowym i terahercowym*	32
Bogusław ŁADECKI	
Badania diagnostyczne przyczyn awarii wytłaczarki przemysłowej do tworzyw sztucznych $\varnothing 90^*$	38
Informacje dla Autorów i Czytelników	42

* Artykuł recenzowany

REKLAMY NA OKŁADCE

TÜV Rheinland	1
TÜV Rheinland	43

REKLAMY W NUMERZE

49. KKBN	4
----------------	---

PATRONAT I STAŁA WSPÓŁPRACA
PATRONAGE AND PERMANENT COOPERATION



PTBNiDT



Bogusław Ładecki*

Katedra Wytrzymałości, Zmęczenia Materiałów i Konstrukcji, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, AGH w Krakowie

Badania diagnostyczne przyczyn awarii wylączarki przemysłowej do tworzyw sztucznych $\varnothing 90$

Diagnostic tests of the causes of failure of the industrial extruder for plastics $\varnothing 90$

STRESZCZENIE

W referacie omówiono przypadek przedwczesnego uszkodzenia wylączarki przemysłowej dwuślimakowej do tworzyw sztucznych wykonanej ze stali nierdzewnej chromowo-molibdenowej gatunku 1.4122 (3H17M). Przeprowadzone badania diagnostyczne, w których skład wchodziło wykonanie: badań nieniszczących, metalograficznych, termowizyjnych i pomiarów twardości, dały podstawę do wskazania przyczyn wystąpienia uszkodzeń wylączarki, związanych z przedostawianiem się zanieczyszczeń w materiale wsadowym.

Słowa kluczowe: wylączanie; stal nierdzewna; zmęczenie materiału; badania nieniszczące nieniszczące

ABSTRACT

The paper discusses the case of premature failure of an industrial twin-screw extruder for plastics made of chromium-molybdenum stainless steel grade 1.4122 (3H17M). The diagnostic tests carried out, which included the performance of: non-destructive, metallographic, thermovision and hardness tests, gave the basis to indicate the causes of extruder damage associated with the entry of impurities in the input material.

Keywords: extrusion; stainless steel; material fatigue; non-destructive testing

1. Wstęp

Wylączanie tworzyw sztucznych, to proces otrzymywania wyrobów lub półwyrobów (w postaci profili, płyt lub folii) z tworzyw polimerowych, polegający na uplastycznieniu materiału w układzie uplastyczniającym wylączarki, a następnie jego ukształtowaniu poprzez wyciskanie przez odpowiednio ukształtowany ustnik, znajdujący się w głowicy. Jako materiał wyjściowy stosuje się tworzywa w postaci granulatu, proszku, płatków lub wiórów.

Do przemysłowego procesu wylączania tworzyw wrażliwych termicznie stosuje się zwykle wylączarki dwuślimakowe przeciwbieżne lub współbieżne pracujące w sposób ciągły.

Otrzymanie wyrobu o wymaganej jakości z dużą wydajnością, szczególnie w układach z rowkowaną strefą zasilania, umożliwiają tylko ślimaki zaopatrzone w odpowiednie elementy homogenizujące tworzywo, tj. ścinające i mieszające na ich końcu. Celem elementów ścinających jest przede wszystkim przyspieszenie równomiernego uplastycznienia tworzywa poprzez zamianę energii mechanicznej napędu ślimaka w energię cieplną, uzyskaną w warunkach dużych szybkości ścinania uplastycznianego materiału w niewysokiej temperaturze. Zadaniem elementów rozpraszających jest homogenizacja uplastycznionego tworzywa opuszczającego element ścinający. Ujednorodnienie uzyskuje się dzięki zastosowaniu układu mieszającego umieszczonego w strefie

relaksacji, tj. strefie o zwiększonej wysokości kanałów. Stosowanie takich elementów powoduje jednak wzrost mocy pobieranej przez napęd, a więc równocześnie wzrost temperatury uplastycznionego tworzywa. Element taki działa jak dławik, obniżając wydajność wylączania, lecz umożliwia prowadzenie procesu przy wyższych prędkościach obrotowych ślimaka i zapewnia otrzymanie odpowiednio ujednorodnionego materiału, a więc i optymalnej jakości wyrobu [1-6].

Dla rozważanej wylączarki przemysłowej dwuślimakowej o średnicy ślimaków $\varnothing 90$ mm, jako materiał wsadowy w procesie wylączania stosowano PMMA (polimetakrylan metylu) charakteryzujący się dużym zakresem temperatury mięknięcia. Cylinder oraz ślimaki wykonano ze stali nierdzewnej chromowo-molibdenowej gatunku 1.4122 (3H17M) poddanej hartowaniu do 50 ± 2 HRC. Po około pół roku od momentu uruchomienia wylączarki, stwierdzono wystąpienie awarii uniemożliwiającej jej dalszą eksploatację.

2. Badania nieniszczące

Wykonane badania nieniszczące metodą wizualną wykazały występowanie szeregu uszkodzeń elementów roboczych wylączarki:

- pęknięcie zmęczeniowe na wskroś śruby z łbem stożkowym M10x25, zabezpieczającej jeden ze ślimaków układu plastryfikującego - Rys. 1,

*Autor korespondencyjny. E-mail: boglad@agh.edu.pl



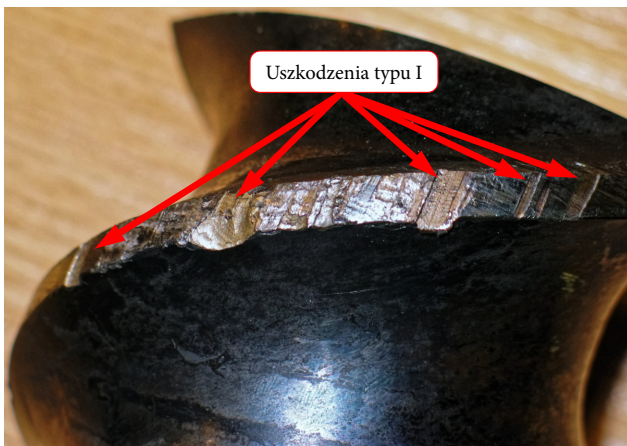
Rys. 1. Pęknięcie zmęczeniowe na wskroś śruby z łbem stożkowym M10x25 [6].

Fig. 1. Fatigue crack through M10x25 countersunk head screw [6].



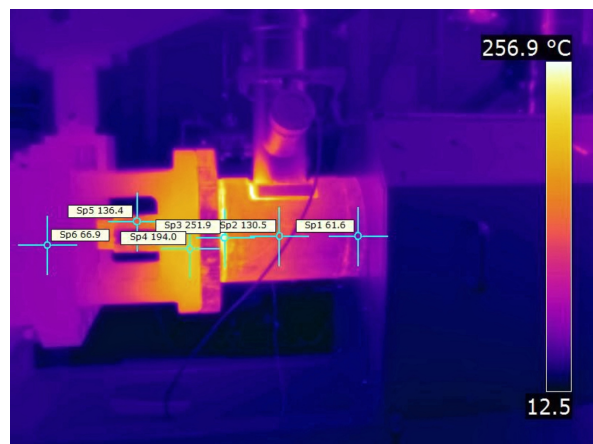
Rys. 3. Uszkodzenia typu II stwierdzone dla segmentów uszczelniających ślimaka [6].

Fig. 3. Type II damage found for screw sealing segments [6].



Rys. 2. Uszkodzenia typu I stwierdzone dla segmentu nr 2 ślimaka [6].

Fig. 2. Type I damage found for segment no 2 of the screw [6].



Rys. 4. Wyniki badań termowizyjnych silnie przegrzanego sprzęgła wylączarki – dokumentacja serwisu [6].

Fig. 4. Thermovision test results of the highly overheated extruder coupling – service documentation [6].

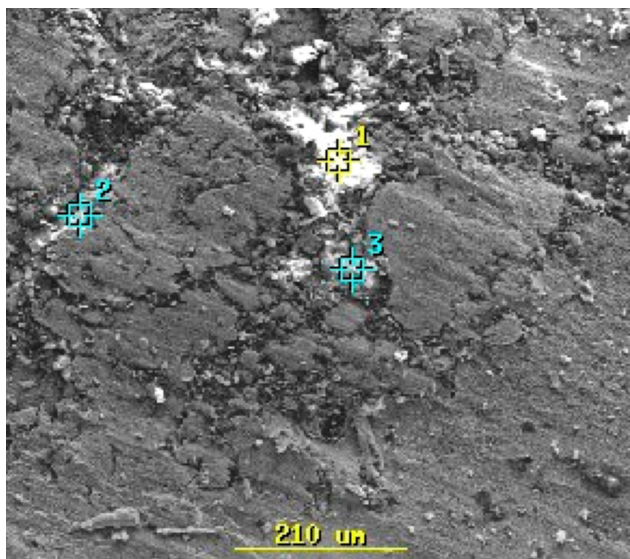
- dla dostarczonych do analizy 6 szt. segmentów transportowych ślimaków stwierdzono wielokrotne występowanie dwóch typów uszkodzeń eksploatacyjnych:

- uszkodzenia typu I o charakterze wytarc w kierunku osi na powierzchni roboczej ślimaka – Rys. 2,
- uszkodzenia typu II o charakterze wytarc obwodowych na poboczniczy zwojów segmentów ślimaka – Rys. 3.

Badania termowizyjne wykonane dla sprzęgła wylączarki wykazały oddziaływanie wysokiej temperatury, która lokalnie osiągnęła wartość 2570 C - Rys. 4.

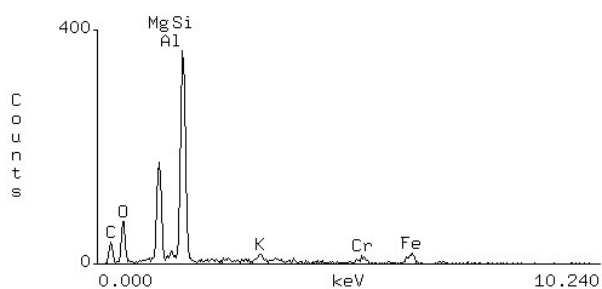
3. Badania metalograficzne

Dla przedstawionych do analizy segmentów ślimaków z uszkodzeniami wykonano badania fraktograficzne za pomocą mikroskopu skaningowego (SEM). Wykonane mikroanalizy rentgenowskie pozwoliły na wykonanie punktowej analizy składu chemicznego ogółem dla 12 obszarów. Wykonane badania SEM wskazują na obecność pierwiastków wchodzących w skład przerabianych tworzyw sztucznych takich jak: węgiel, tlen, siarka, chlor, potas i wapń. Ujawnione żelazo i chrom są głównymi składnikami stali z której wykonano ślimaki. Ujawniona obecność aluminium, magnezu i krzemu niekoniecznie musi pochodzić ze składu chemicznego przerabianych tworzyw



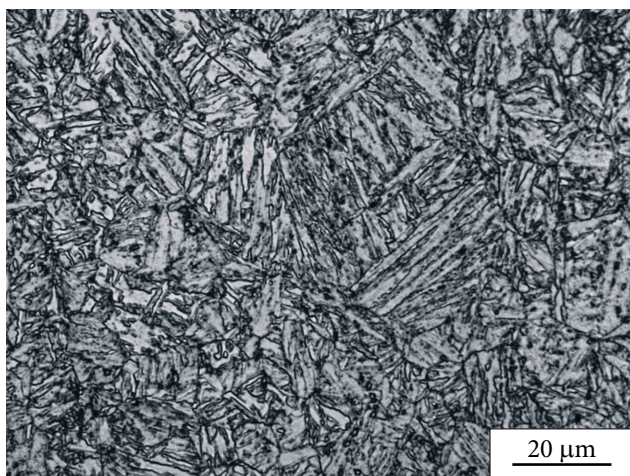
Rys. 5. Obszar uszkodzenia typu I na powierzchni roboczej ślimaka – wyniki analizy SEM [6].

Fig. 5. Type I damage area on the screw working Surface – SEM analysis results [6].



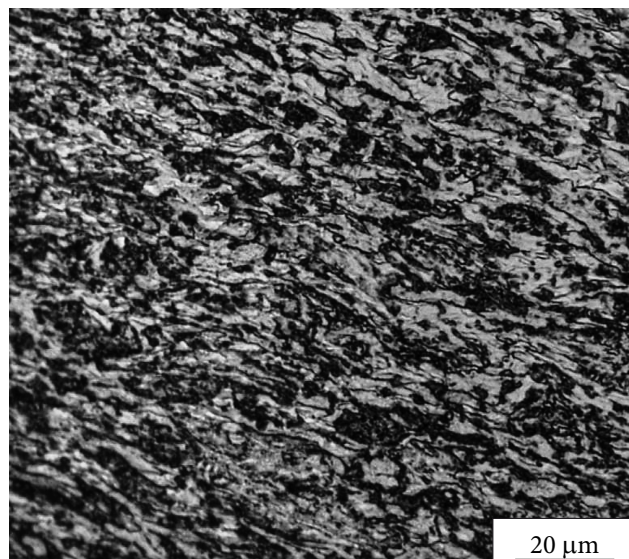
Rys. 6. Mikroanaliza z obszaru 2 na rys. 5 wykazała obecność pierwiastków: Mg, Al, Si, C, O, K Cr i Fe [6].

Fig. 6. Microanalysis from area 2 in fig. 5 showed the presence of elements: Mg, Al, Si, C, O, K Cr i Fe [6].



Rys. 7. Mikrostruktura bainitu w obrębie łba śruby (traw. nital.) [6].

Fig. 7. Bainite microstructure within the screw head (nital etched) [6].



Rys. 8. Odkształcona mikrostruktura ferrytyczno-perlityczna w obrębie zwoju gwintu z widocznymi wydłużonymi ziarnami ferrytu (traw. nital.) [6].

Fig. 8. Type I damage area on the screw working Surface – SEM analysis results [6].

i może być związana z występowaniem zanieczyszczeń materiału wsadowego wylączarki. Przykładowe wyniki analizy SEM dla przełomu z Rys.5 w obszarze rysy na powierzchni roboczej ślimaka, zilustrowano na Rys.6 [6].

Badania mikroskopowe pękniętej zmęczeniowo [7] śruby ustalającej jeden ze ślimaków wylączarki wykonanej ze stali ferrytyczno-perlitycznej pokazanej na Rys. 1 wykazały, że w obrębie łba śruby zahartowana została na bainit – Rys.7. W części gwintowanej śruby stwierdzono natomiast wyraźnie odkształcone wzdłużnie ziarna ferrytu co wskazuje, że śruby w tym obszarze nie została obrobiona cieplnie – Rys.8.

4. Pomiary twardości

Pomiary twardości przeprowadzone na powierzchniach czołowych trzech rozważanych segmentów ślimaka, wykazały występowanie przeciętnych twardości: 26 HRC, 27 HRC i 29 HRC, które były znacznie niższe od twardości wymaganej w dokumentacji technicznej obiektu (50 ± 2 HRC). Niskie wartości twardości potwierdziły wykonane badania metalograficzne uszkodzonych fragmentów ślimaków, podczas których zaobserwowano wydzielania węglików o stosunkowo dużych rozmiarach [6,8].

5. Podsumowanie

Znaczny stopień złożoności procesu technologicznego wylączania, stanowi istotne utrudnienie w ocenie przyczyn pojawienia się uszkodzeń eksploatacyjnych wylączarek. Prawidłowa ocena przyczyn uszkodzeń wymaga zastosowania złożonego zestawu badań diagnostycznych, wraz z kompleksową ich analizą.

Badania nieniszczące wykonane dla rozważanej

wyłaczarki do przemysłowego wyłaczania tworzyw sztucznych wykazały występowanie dwóch typów uszkodzeń ślimaków: typ I to rysy równoległe do osi ślimaków powstałe w czasie eksploatacji podczas ocierania miękkiego materiału o cylinder, typ II to wytarcia na poboczniczy zwojów ślimaków, powstałe w wyniku wzajemnego tarcia o siebie obu ślimaków po zerwaniu śruby mocującej jeden ze ślimaków.

Wyniki wykonanej mikroanalizy rentgenowskiej SEM wskazały na obecność pierwiastków wchodzących w skład przerabianych tworzyw sztucznych, przy czym ujawniono również obecność aluminium, magnezu i krzemu, które niekoniecznie pochodzić muszą ze składu chemicznego przerabianych tworzyw, co może być spowodowane występowaniem zanieczyszczeń materiału wsadowego wyłaczarki.

Pęknięta zmęczeniowo śruba mocująca jeden ze ślimaków, wykonana została ze stali ferrytyczno-perlitycznej. Łeb śruby zahartowany został na bainit, natomiast w części gwintowanej śruby widoczne są wyraźnie odkształcone wydłużone ziarna ferrytu co wskazuje, że śruba w obszarze gwintu nie została obrobiona cieplnie.

Wykonane pomiary twardości segmentów ślimaka wykazały, że twardość ta zawiera się przeciętnie w granicach 26 – 29HRC, czyli uległa istotnemu obniżeniu w porównaniu do wartości projektowej (50 ± 2 HRC). Wykonane badania metalograficzne próbek wyciętych w najbardziej uszkodzonym obszarze roboczym trzech segmentów ślimaka wykazały, że dla stali chromowo-molibdenowej 3H17M zastosowano obróbkę cieplną polegającą na hartowaniu i wysokim odpuszczaniu, przy czym w mikrostrukturze obserwuje się wydzielenia węglików o stosunkowo dużych rozmiarach, co potwierdza uzyskanie relatywnie niskich wartości twardości.

Na podstawie powyższego można stwierdzić, że prawdopodobną przyczyną wystąpienia uszkodzeń wyłaczarki, mogło być przedostawanie się z materiałem wsadowym zanieczyszczeń zawierających w swoim składzie aluminium, magnez i krzem. Zanieczyszczenia te mogły stać się przyczyną wystąpienia zwiększonych oporów ruchu obrotowego ślimaków, a co za tym idzie znacznego stwierdzonego podwyższenia temperatury pracy wyłaczarki i jednocześnie temperatury materiału wsadowego, który opory te mógł jeszcze podwyższyć. Podwyższona temperatura spowodować mogła przemiany struktury materiału, których wynikiem było znaczne obniżenie twardości materiału ślimaków. Znacznie zwiększone opory ruchu obrotowego ślimaków spowodowały wystąpienie podwyższonych obciążeń w kierunku osi ślimaków, skutkujące zmęczeniowym pęknięciem śruby. Tarcie „miękkiej” powierzchni roboczej (tworzącej) ślimaków o cylinder spowodowało powstanie uszkodzeń typu I. Po zerwaniu śruby nastąpiło osiowe

przemieszczenie jednego ze ślimaków, skutkujące powstaniem otarć typu II na ich pobocznicach. Wykonane badania i analizy nie dały podstaw do jednoznacznego stwierdzenia, odnośnie wpływu błędów technologicznych wykonania śruby, na zidentyfikowany proces wystąpienia uszkodzenia wyłaczarki.

Podziękowanie

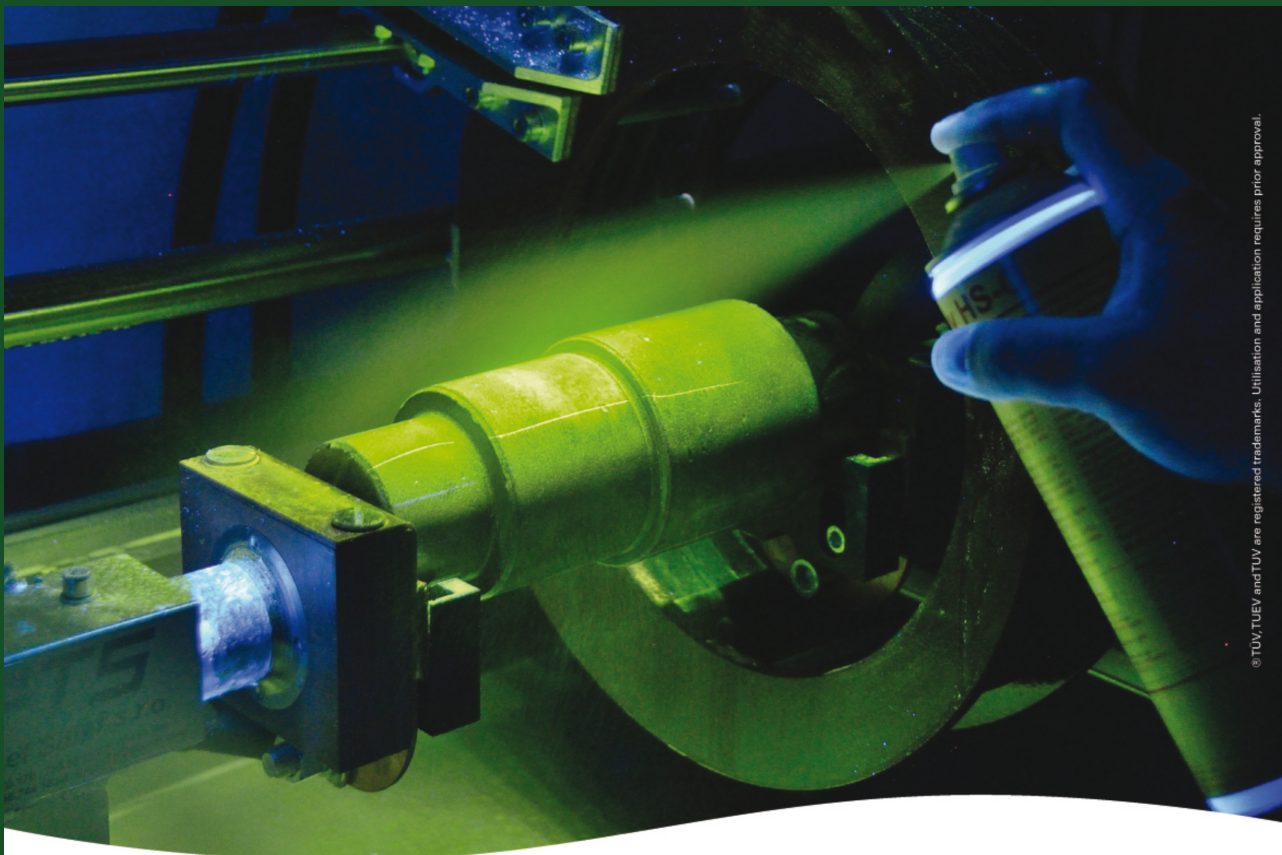
Artykuł powstał w ramach realizacji pracy statutowej Katedry Wytrzymałości Zmęczenia Materiałów i Konstrukcji WIMiR AGH pt. *Wytrzymałość Materiałów i Konstrukcji - praca nr 11.11.130.375.*

6. Literatura

- [1] Praca zbiorowa pod red. K. Wilczyńskiego: Przetwórstwo tworzyw sztucznych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2000.
- [2] J. Stasiak: Wyłaczanie tworzyw polimerowych. Zagadnienia wybrane. Wyd. Uczelniane Uniwersytetu Technologiczno - Przyrodniczego, Bydgoszcz 2007.
- [3] Praca zbiorowa pod red. H. Zawistowskiego: Wyłaczanie tworzyw sztucznych. PLASTECH, Wyd. Poradników i Książek Technicznych, Warszawa 1999.
- [4] R. Sikora: Przetwórstwo tworzyw wielkocząsteczkowych. Wyd. Edukacyjne Zofii Dobkowskiej, Warszawa 1993.
- [5] K. Dobrosz, A. Matysiak: Tworzywa sztuczne. Materiałoznawstwo i przetwórstwo. WSiP, Warszawa 1994.
- [6] B. Ładecki, T. Skowronek: Analiza przyczyn wystąpienia uszkodzeń wyłaczarki do tworzyw sztucznych 090. AGH, KWZMiK, praca N-B nr 30.30.130.963, Kraków 2014.
- [7] Norman E. Dowling: Mechanical Behavior of Materials. Engineering Methods for Deformation, Fracture, and Fatigue. Printice Hall. Englewood Cliffs, New Jersey, 1999.
- [8] T. Burakowski, T. Wierzchoń: Inżynieria powierzchni meali. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1995.



Dr inż. Bogusław Ładecki, jest pracownikiem naukowo-dydaktycznym na Wydziale Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, Akademii Górniczo-Hutniczej im. St. Staszica w Krakowie. Od wielu lat pełni funkcję Sekretarza Zarządu w Polskim Towarzystwie Badań Nieniszczących i Diagnostyki Technicznej SIMP, jak również funkcję członka Zarządu Krakowskiego Oddziału SIMP. Jako autor lub współautor prawie stu publikacji naukowo-badawczych, zajmuje się problemami wytrzymałości, zmęczenia, oraz badań nieniszczących materiałów i konstrukcji.



© TÜV, TÜV and TÜV are registered trademarks. Utilisation and application requires prior approval.

Szkolenia, egzaminy i certyfikacja personelu NDT



AC 195



VT



MT



PT



UT



RT



ET

NOWOŚĆ – SZKOLENIA DOFINANSOWANE!

www.tuv.pl

 **TÜVRheinland®**
Precisely Right.