

Fractographic examinations of the laptop hinge

Badania fraktograficzne zawiasu notebooka

Streszczenie

W pracy podjęto problem identyfikacji przyczyny uszkodzenia zawiasu pokrywy matrycy laptopa. Biorąc pod uwagę mechaniczne i materiałowe przyczyny wystąpienia awarii podjęto badania mające na celu określenie czy do uszkodzenia doszło z przyczyn powstałych w procesie produkcji czy niewłaściwego użytkowania. Przeprowadzono badania fraktograficzne umożliwiające identyfikację mechanizmów utraty spójności materiału na podstawie charakterystycznych cech przełomu, które wiążą się z mechanizmem pęknięcia, z torem pęknięcia i zachowaniem się materiału (odpowiedzią materiału) w procesie odkształcania i pęknięcia. Ponadto wykorzystano spektralną analizę chemiczną służącą do jakościowej i ilościowej oceny składu chemicznego uszkodzonego elementu. Obserwacja przy użyciu mikroskopów stereoskopowego i elektronowego dały możliwość identyfikacji struktury materiału oraz bardzo dokładną ocenę występującej wady. Ustalono, że przedmiot został wykonany metodą odlewania stopów metali lekkich, w tym przypadku stopu cynku z aluminium, co potwierdzają dane producentów oraz analiza składu chemicznego uszkodzonego elementu. Przeprowadzone badania wykazały, iż przełom został zapoczątkowany obecnością karbu. Wada ta powstała na etapie wytwarzania elementu doprowadzając do trwałego uszkodzenia przedmiotu. Ponadto, podczas demontażu uszkodzonej części zaobserwowano duży luz w elemencie

Abstract

This paper discusses the problem of identifying the cause of damage to the laptop's cover hinge. Considering defects of the material or mechanical background, a sequence of examinations was conducted to determine whether damage happened for reasons arising in the manufacturing process, the assembling process or the improper handling. Fractographic examinations enable the identification of mechanisms of the material cohesion losing based on characteristic features of the fracture which are connected with the mechanism of cracking, with the path of the crack and behaving of material (with reply of material) in the deforming and cracking process. Moreover a spectral chemical analysis, for a qualitative and quantitative evaluation of the chemical composition of the damaged element was used. Observation using stereoscopic microscopes and electron made it possible to identify the structure of the material and a very accurate assessment of defects occurring. It was established that the item was made by casting, and the fracture was initiated by the presence of the notch. This defect arose at the manufacturing process of the element which led to the permanent damage of the item. Moreover, during disassembly of the damaged part, large loose in the join of the damaged element to screws, was observed. This could lead for accelerated reveal of the defect, arising as a result of the usage, not necessarily wrong. The way of attachment could also suggest improper assembly of the elements.

¹zuzannastasiak@tlen.pl, Koło Naukowe Technologii Materiałów, Wydział Mechaniczny, Politechnika Lubelska, www.kntm.pollub.pl

²daniel.lukasik10@gmail.com, Koło Naukowe Technologii Materiałów, Wydział Mechaniczny, Politechnika Lubelska, www.kntm.pollub.pl

³m.szala@pollub.pl, Katedra Inżynierii Materiałowej, Wydział Mechaniczny, Politechnika Lubelska

⁴k.beer.lech@gmail.com, Katedra Inżynierii Mechanicznej i Automatyki, Wydział Inżynierii Produkcji, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

łączenia uszkodzonego elementu do pozostałych, tj. śruby. Mogło to prowadzić do przyspieszonego ujawnienia powstałej wady na skutek eksploatacji, niekoniecznie niewłaściwej. Sposób mocowania mógł też świadczyć o niewłaściwym montażu elementów.

Słowa kluczowe: fraktografia, struktura, analiza, przełom

Keywords: fractography, structure, analysis, fracture

1. Wstęp

W wielu konstrukcjach inżynierskich istnieje zapotrzebowanie na elementy łączące części danego mechanizmu i jednocześnie umożliwiające wzajemne poruszanie się. Taką funkcję spełniają zawiasy. Zawias umożliwia utworzenie ruchomego połączenia, w miejscach gdzie części mechanizmu poruszają się względem jednej osi, osi zawiasu [1]. Projektując taki mechanizm należy wziąć pod uwagę zakres ruchu danych elementów, obciążenia wywołane przez mocowane elementy, przeznaczenie i środowisko, w jakim dany mechanizm będzie pracował. Charakterystyka zawiasu obejmuje także jego odporność zmęczeniową i średnią ilość cykli jakie może wykonać zanim ulegnie uszkodzeniu.

Praca obejmuje badania przełomu zawiasu mocującego klapę matrycy do dolnej części obudowy laptopa. Według danych serwisowych, jest to jedna z najczęściej serwisowanych części całego układu mechanicznego laptopa. Związane jest to ze zmianą wartości naprężeń w elementach zawiasu powodowaną wielokrotnym otwieraniem i zamykaniem klapy matrycy. Uszkodzeniu może ulec część składowa zawiasu bądź fragment obudowy w miejscu łączenia. Zawiasy stosowane w komputerach przenośnych powinny charakteryzować się małą masą przy zachowaniu odpowiednich parametrów wytrzymałościowych, dlatego do ich wykonania używa się zwykle odlewów wykonywanych ze stopów metali lekkich takich jak: magnez, aluminium, cynk lub tytan. Spotyka się także zawiasy wykonane z tworzyw polimerowych. Zadaniem tego typu zawiasu matrycy komputera jest umożliwienie płynnego ruchu „z niewielkim oporem”, przy jednoczesnym zapewnieniu stabilnej pozycji matrycy (wyeliminowanie wahania) [2].

Celem pracy było określenie przyczyn uszkodzenia zawiasu komputera przenośnego. Wpływ warunków eksploatacji, geometrii elementu, składu materiału powiązано z technologią jego wykonania. Przeanalizowano wpływ wymienionych czynników na powstałe uszkodzenie zawiasu.

2. Materiały i metody

Przedmiotem badań był zawias mocowania matrycy komputera użytkowanego w warunkach domowych przez okres około 6 lat. Dokonano oceny

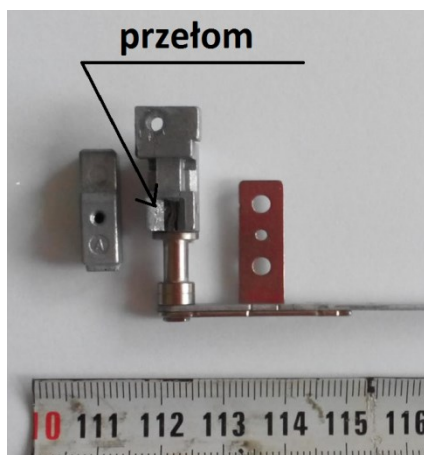
wizualnej elementu, zbadano skład chemiczny oraz wykonano badania fraktograficzne zawiasu w miejscu przełomu. Badania wykonano przy użyciu mikroskopu stereoskopowego Nikon typu SMZ 1500 oraz mikroskopu skaningowego Phenom World ProX.

2.1. Charakterystyka badanego elementu

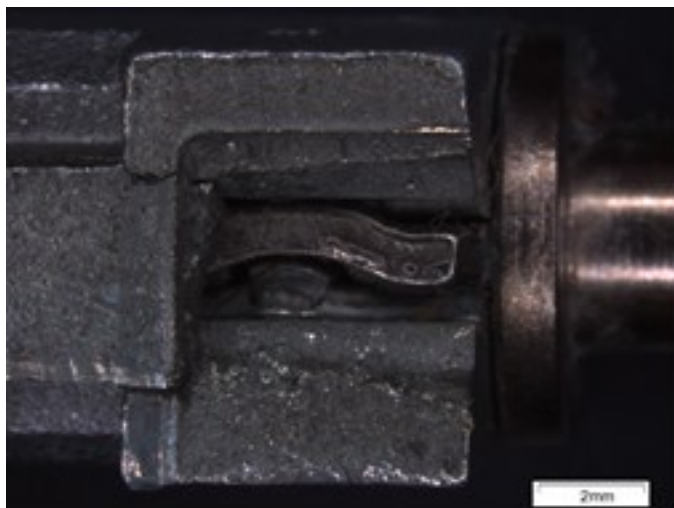
Badanym elementem był lewy uszkodzony zawias przenośnego komputera marki ASUS serii M51. Rys. 1 przedstawia fabrycznie nowy element, natomiast Rys. 2 oraz Rys. 3 ukazują uszkodzony zawias – strzałką zaznaczono przełom zawiasu w skali makroskopowej.



Rys. 1. Fabrycznie nowy element. Źródło: [3]



Rys. 2. Badany uszkodzony element. Źródło: Opracowanie własne



Rys. 3. Obraz przełomu wykonany na mikroskopie stereoskopowym Nikon SMZ 1500.
Źródło: Opracowanie własne

2.2. Analiza składu chemicznego

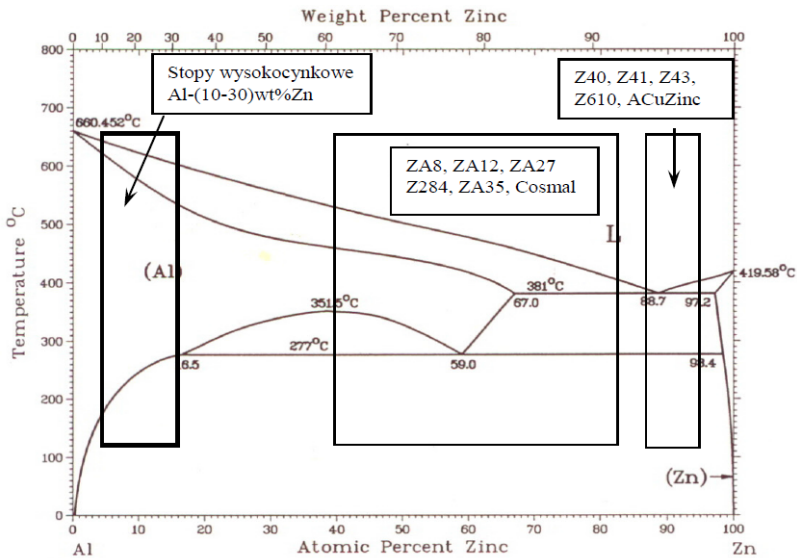
W celu oszacowania składu chemicznego materiału użyto mikroskopu skaningowego PhenomWorld Pro X, wyposażonego w moduł EDX, przy użyciu którego wykonano punktową analizę składu chemicznego. Wyniki analizy zawarto w tabeli 1.

Tabela 1. Skład chemiczny uszkodzonego elementu zawiasu

Pierwiastek	Udział masowy [%]	Odchylenie standardowe *2 [+/-]
Zn	82,50	0,37
Al	11,97	5,06
Cu	0,30	0,07
Fe	0,18	0,04
Mo	0,04	0,02
inne	reszta	—

Źródło: Opracowanie własne

Analiza składu chemicznego (Tabela 1) pozwoliła na ustalenie, że element został wykonany ze stopu cynku i aluminium. Wykryto również obecność miedzi, żelaza i molibdenu. Analiza układu równowagi cynk – aluminium (Rys. 4.) i danych literaturowych pozwoliły wysnuć przypuszczenie, że badany element mógł zostać wykonany ze stopu o składzie zbliżonym do materiału gatunku ZA12.



Rys. 4. Układ równowagi Zn-Al. Źródło [4]

Dodanie niewielkich ilości magnezu do stopów Zn-Al powoduje opóźnienie rozpadu eutektoidalnego fazy β , ale go nie zatrzymuje. Z kolei, dodatek miedzi przyspiesza rozpad. W stopach tych, oprócz rozpadu eutektoidalnego fazy β , zachodzi również proces wydzielania się bogatych w aluminium krystalitów β z przesyconego roztworu α . Przemiana ta zachodzi w temperaturze pokojowej w ciągu miesięcy a nawet lat i dlatego jest bardziej niebezpieczna w praktyce niż stosunkowo szybko przebiegający eutektoidalny rozpad fazy β . Procesowi wydzielania się krystalitów β z przesyconego roztworu α towarzyszą, w wyniku zmian parametrów sieciowych, zmiany wymiarów przedmiotów dochodzące do 0,15%. Stąd też wskazany jest dodatek miedzi do stopów Zn-Al. [4, 5]

Grupa materiałów zwana „znanymi” – do której mógłby należeć badany stop, wykazuje skłonność do samorzutnego starzenia powodującego zmiany objętościowe i związaną z tym kruchość. Do zalet znali zalicza się łatwość, z jaką daje się spawać, lutować, niklować i chromować, również obrabiać ubytkowo [5, 6].

Wysokoalumiinowe stopy cynku znane są jako stopy o stosunkowo dobrych właściwościach wytrzymałościowych, tłumiących i tribologicznych. W tabeli 2 przedstawiono właściwości zaproponowanego stopu. Stopy te odlewane są grawitacyjnie, ciśnieniowo do zarówno do form trwałych jak i jednorazowych. W procesie odlewania grawitacyjnego stosuje się najczęściej formy ceramiczne, grafitowe, bądź metalowe. Odlewy z tych form charakteryzuje gruboziarnista struktura, uzyskana w czasie powolnego stygnięcia odlewu w formie. Strukturę tę można z powodzeniem rozdrobnić i uzyskać tą drogą podwyższone właściwości plastyczne. Zabieg rozdrabniania ziarna jest powszechnie stosowany w praktyce odlewniczej w celu poprawy właściwości odlewu, głównie wytrzymałościowych. Proces ten jest realizowany na ogół przez wprowadzenie do ciekłego stopu, przed jego odlaniem do formy, zaprawy modyfikującej rozdrabniającej ziarno [4, 7].

Tabela 2. Własności wytrzymałościowe odlewów stopu Zn-Al [8]

Właściwość	ZA 12 odlewany do form jednorazowych	ZA 12 odlewany do form metalowych	Jednostka
Wytrzymałość na rozciąganie	276-317	310-345	MPa
Granica plastyczności	214	269	MPa
Wydłużenie	1-3	1-3	%
Twardość	89-105	59-105	HRB
Moduł sprężystości	82,7	82,7	MPa x 10 ³
Współczynnik Poissona	0,30	0,30	-

2.3. Ocena fraktograficzna

Element został poddany ocenie makroskopowej w celu klasyfikacji rodzaju przelomu.

Przyjętych jest kilka zasad klasyfikowania złomów, najczęściej jednak klasyfikuje się złomy według budowy złomu, rodzaju obciążenia i mechanizmu rozwoju pęknięcia. Najstarszym i najprostszym podziałem jest podział na złomy kruche i plastyczne [9,10]:

- Pod pojęciem złomu kruchego rozumie się złom bez makroskopowych odkształceń plastycznych. Wywołuje go obciążenie w zakresie umownie sprężystym, które przekracza spójność materiału w płaszczyznach sieciowych. Pamiętać należy jednak, że na czole rozwijającego się pęknięcia kruchego w metalach zawsze istnieje lokalne odkształcenie plastyczne;
- Złom plastyczny lub złom ciągliwy jest poprzedzony makroskopowym odkształceniem plastycznym, wywoływanym przez całkowite poślizgi w płaszczyznach poślizgu przy wyższym oporze dekohezji w płaszczyznach łupliwości i na granicach ziaren.

Trudniej jest jednak właściwie określić złomy pośrednie – plastyczno-kruche. Niekiedy bardzo trudno jest dostrzec różnicę między utworzeniem uskoku a zerwu, zwłaszcza w przypadku pęknięć rozwijających się w równoległych płaszczyznach łupliwości położonych bardzo blisko siebie.

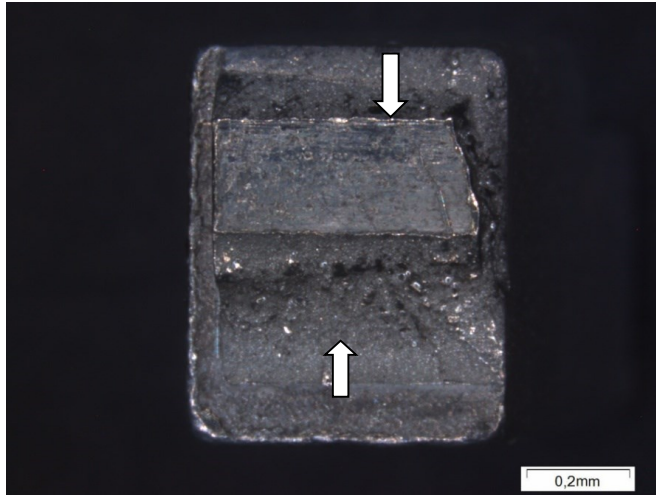
Ważnym aspektem powstawania przełomów jest zarodkowanie pęknięcia. Pęknięcie elementów konstrukcyjnych jest inicjowane często przez wady technologiczne, np. zawalcowania, zakucia, karby i nacięcia spowodowane niestaranną obróbką wiórową i inne lub uchybienia projektowe. Jednak pęknięcie metali zachodzi też bez obecności tych defektów. Na powstawanie pęknięć mają wpływ spiętrzające się pod wpływem naprężeń dyslokacje. Literatura wskazuje, że pod wpływem cyklicznych zmian naprężeń na powierzchni materiału tworzą się linie poślizgu, a wraz ze wzrostem liczby cykli przekształcają się w zmęczeniowe pasma poślizgu [10, 11].

Element badany poddawany został cyklicznemu zginaniu. W przełomach powstałych poprzez zginanie występują naprężania rozciągające, oraz ścisiskające. W odróżnieniu od typowych złomów powstałych w skutek rozciągania trójosiowego w przydatku zginania zniszczenie elementu rozpoczyna się od krawędzi rozciąganej, a nie od środka przekroju poprzecznego próbki.

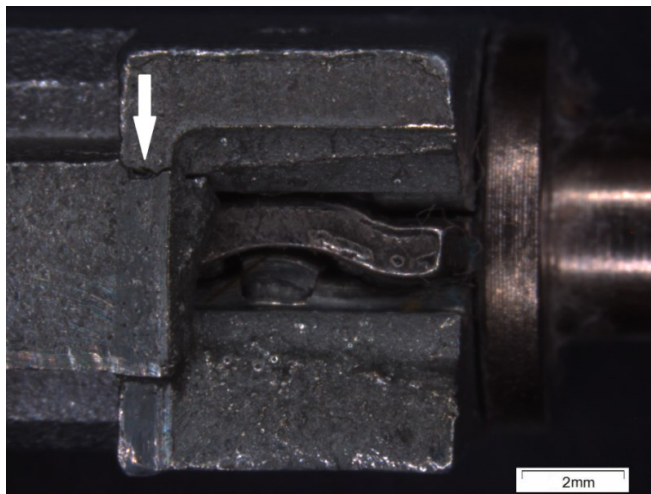
Przedmioty będące w stanie kruchym poddawane zginaniu można całkowicie złamać. Z powierzchni powstałego przełomu możemy odczytać kierunek pęknięcia, wskazać występowanie wad materiałowych, a nawet określić strukturę. Do zainicjowania pęknięcia nie zawsze dochodzi w miejscu przyłożenia siły, często niszczenie elementu rozpoczyna się od miejsca występowania wad odlewniczych, zadrapań lub zanieczyszczeń. Odlewy metalowe cechuje znacznie niższa plastyczność w porównaniu do elementów wytwarzanych innymi technologiami. Jeżeli zginany element jest wykonany z materiału o stosunkowo niskiej plastyczności, możliwe nastąpić jego całkowite zniszczenie, które będzie jednak poprzedzało pewne odkształcenie plastyczne [11, 12].

Próbki zginane wyróżniają się charakterystycznym złomem, ponieważ podczas zginania następuje rozciąganie włókien zewnętrznych i ściskanie

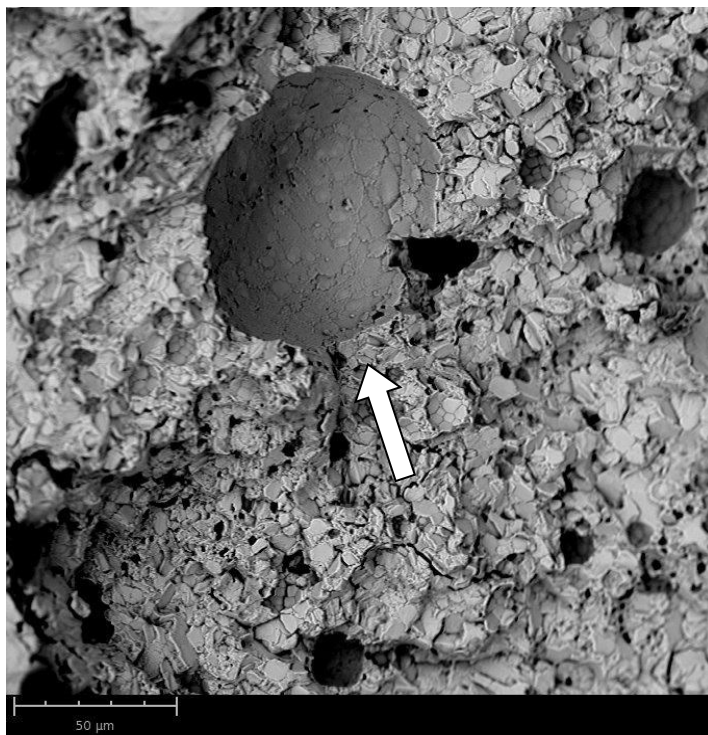
włókien wewnętrznych. Próbek w stanie bardzo plastycznym nie można doprowadzić do pęknięcia. Próbki łamane w stanie kruchym nie wykazują przewężenia. Na powierzchni złomów zmęczeniowych można rozróżnić trzy strefy. Inicjacja i rozprzestrzenianie się pęknięcia zaczyna się od brzegu rozciąganego przekroju próbki. Na powierzchniach próbek słabo plastycznych, przed wystąpieniem zniszczenia można pod mikroskopem zaobserwować liczne spękania [11, 13].



Rys. 5. Makrostruktura powierzchni przelomu z zaznaczoną porowatością. Zdjęcie wykonane na mikroskopie stereoskopowym Nikon SMZ 1500. Źródło: Opracowanie własne



Rys. 6. Makrostruktura powierzchni przelomu z zaznaczonym strzałką pęknięciem. Zdjęcie wykonane na mikroskopie stereoskopowym Nikon SMZ 1500. Źródło: Opracowanie własne



Rys. 7. Mikrostruktura powierzchni przełomu z zaznaczoną porowatością. Zdjęcie wykonane na mikroskopie skaningowym Phenom Pro-X. Źródło: Opracowanie własne

Zaznaczone białą strzałką pęknięcie (Rys. 6) rozpropagowało na kierunku naroża we wcięciu mocowania elementu w obudowie. Możliwe, że przyczyną takiej propagacji była geometria elementu oraz jego budowa mikrostrukturalna. Konstrukcję zawiasu cechuje obecność stosunkowo małych promieni zaokrągleń. Pękanie mogło być zainicjowane na skutek kumulowania się naprężeń w miejscu zmiany geometrii elementu – występowania karbu zewnętrznego. Na przełomie elementu (Rys. 7) można zidentyfikować występowanie porów oraz gruboziarnistą strukturę stopu.

3. Analiza wyników

Skład chemiczny materiału, z którego został wykonany zawias to stop cynku z aluminium, potocznie zwany znałem (Zn-Al). Jest to typowy stop odlewniczy stosowany na precyzyjne odlewy, uchwyty, zawiasy, klamki drzwi, panewki łożysk ślizgowych, gaźniki samochodowe i motocyklowe. Stop ten cechuje się wysoką podatnością na obróbkę plastyczną, posiada niską temperaturę topnienia, jest bardzo odporny na korozję (zarówno cynk jak

i aluminium wykazują wysokie właściwości antykorozyjne), niestety wykazuje niską wytrzymałość na rozciąganie [6].

Po dokładnej obserwacji makro i mikroskopowej powierzchni przelomu można stwierdzić, że pęknięcie miało ognisko w narożu, gdzie następowała zmiana kształtu i przekroju. Wpływ kształtu uwydatnia się przy nagłej zmianie przekroju poprzecznego. Występuje wówczas efekt działania karbu, który polega na spiętrzeniu naprężeń. Poziom spiętrzenia naprężeń uwzględnia się dla najbardziej osłabionego przekroju w konstrukcji [12]. Na propagację pęknięcia mogła mieć wpływ obecność niejednorodności strukturalnych materiału takich jak duża porowatość widoczna na przelomie elementu. Praktycznie wszystkie odlewnicze stopy cynku zawierają pewną porowatość. W stopach odlewanych ciśnieniowo, porowatość pochodzi z dwóch źródeł. Po pierwsze, wraz z obniżaniem temperatury podczas krystalizacji stopu zmniejsza się rozpuszczalność w gazów – mogą one wydzielać się i gromadzić w postaci pęcherzy. Po drugie, na skutek skurczu metalu i braku odpowiedniego zasilania odlewu [6].

Zgodnie z badaniami S.R.Casolco i inni, udział porowatości pomiędzy 1% do 5%, przy jednoczesnym niewielkim rozmiarze poszczególnych porów, nie wpływa znacząco na właściwości mechaniczne materiału. Ponadto ustalili oni, że rozkład porowatości jest co najmniej tak samo ważne jak jej udział procentowy. Zasugerować można, żeby projektanci i technolodzy powinni tak zaprojektować element oraz technologię produkcji, aby zapewnić odporność na powstawanie oraz gromadzenie się porów w krytycznych dla wytrzymałości elementu obszarach odlewów, w pozostałych regionach nie jest to tak ważne, przynajmniej nie ze strukturalnego punktu widzenia. Z kolei według badań B. Harriprashad'a i innych udział porowatości ma wpływ na ciągliwość, czyli jednocześnie na kruchość materiału, co ma znaczenie na proces występowania uszkodzenia i jego propagacji. Zależnie od temperatury w jakiej materiał poddawany jest obciążeniu mamy do czynienia z kruchością w niskich temperaturach, a w przypadku podwyższonych temperatur mówimy o podwyższonej ciągliwości. Podwyższony udział porów w materiale wpływa na zmniejszenie kruchości zarówno w niskiej jak i w wysokiej temperaturze pracy blisko dwukrotnie w porównaniu do materiału z nieznaczną ilością porów [14,15,16]. Biorąc pod uwagę warunki eksploatacyjne elementu tj. wielokrotne cykle otwierania i zamykania pokrywy laptopa oraz analizując charakter przelomu, stwierdzono, że wskazują one na zmęczeniowy charakter pęknięcia, jak sugerują informacje zawarte w pracach [9, 10, 13].

4. Podsumowanie

W oparciu o wyniki badań i analizę literatury dokonano wstępnej identyfikacji składu chemicznego oraz przeanalizowano przyczyny uszkodzenia elementu zawiasu komputera przenośnego. Element został wykonany z odlewniczego stopu na osnowie cynku i aluminium. Ocena stanu powierzchni elementu oraz fakt wielkoseryjnej produkcji wyrobu potwierdzają, iż został on wykonany w technologii odlewania np. odlewania ciśnieniowego. Przełom elementu zaklasyfikowany został jako zmęczeniowy i jego przyczyną były warunki eksploatacji elementu takie jak cykliczność pracy (zamykanie i otwieranie pokrywy laptopa) oraz geometria elementu i występowanie karbu. Na obniżenie odporności zmęczeniowej miały wpływ zidentyfikowane niejednorodności materiałowe tj. pory. Pęknięcie propagowało z ogniska, którym było ostro zakończone naroże odlew. Jak podaje literatura [9÷13] ostre krawędzie należy zaokrąglić – sprzyja to korzystniejszemu rozkładowi naprężeń i przeciwdziała pękaniu elementu w miejscu zmiany geometrii elementu. Modyfikacja konstrukcji odlew, dodanie zaokrąglenia ostrego naroża mogło by wyeliminować działanie karbu i zabezpieczyć element przez zniszczeniem.

Literatura

1. *Pomoc online Solid Works. Wiązania zawiasowe*, dane z Internetu 02.03.2015: http://help.solidworks.com/2012/polish/SolidWorks/sldworks/t_Hinge_Mates_OH.htm
2. *Laptop dla biznesu. Na co zwracać uwagę*, dane z Internetu 02.03.2015: <http://www.mobimaniak.pl/114458/laptop-dla-biznesu-2013/>
3. Multo, Strona internetowa firmy, dane z Internetu 02.03.2015: <http://laptop-parts.pl/Asus-Zawiasy-F3-F3E-M51-M51A-M51V-M51S,p2.html>
4. Krajewski W. K. *Stopy Cynku z Aluminium, rodzaje, właściwości, zastosowanie*, AGH, Kraków 2013
5. Krajewski W. K. *Badanie mechanizmu heterogenicznego zarodkowania w wysokoaluminiowych stopach cynku modyfikowanych dodatkiem tytanu*, Monografia, AGH, Kraków 1996
6. Adamski C., Rządkosz S. *Metalurgia i odlewnictwo metali nieżelaznych*, AGH, Kraków 1996
7. Krajewski W. K. *Shaping structure and properties of high-zinc aluminium alloys*, AGH, Kraków 2010
8. *Gravity casting alloys*, dane z internetu 02.03.2015: <http://www.eazall.com/Gravity-Casting-Alloys>
9. Szala J., Boroński D. *Ocena stanu zmęczenia materiału w diagnostyce maszyn i urządzeń* Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji – Państwowego Instytutu Badawczego, Bydgoszcz-Radom 2008
10. Drewnowski S. *Formy złomów i zniszczeń elementów konstrukcji metalowych*. Warszawa, 1969

11. Kocańda S. *Zmęczeniowe pękanie metali*, WNT, Warszawa 1985
12. *Wytrzymałość zmęczeniowa konstrukcji*, dane z Internetu 02.03.2015: http://www.jankowskimarek.ukw.edu.pl/jankowski/WYTRZYMALOSC_ZMECZENIOWA.pdf
13. Gardyński L. A., Szala M. *Uszkodzenia eksploatacyjne elementów pojazdów*, in: L. Gardyński, M. Szala (Eds.), *Wybrane zagadnienia z budowy i eksploatacji maszyn*, Politechnika Lubelska, Lublin, 2013: pp. 76-109
<http://bc.pollub.pl/Content/6036/budowamaszyn.pdf>
14. *Zinc diecasting alloys*, dane z Internetu 02.03.2015: <http://zinc-diecasting.ion-ainteractive.com/db-en/HTML/1-2.php>
15. Casolco S. R., Dominguez G., Sandoval D., Gara J. *Processing and mechanical behavior of Zn-Al-Cu porous alloys*”, Department of Mechanical Engineering, University of California, Riverside, USA 2007
16. Harriprashad B., Courtney T. H., Lee J. K. *Porosity and tensile ductility in Al-Zn alloys* Metallurgical Transactions, March 1988, Volume 19, Issue 3, pp 517-52