

ANALIZA PROBLEMU TRWAŁOŚCI MIESZADŁA ŚLIMAKOWEGO

Grzegorz Królczyk

Katedra Inżynierii i Bezpieczeństwa Pracy, Politechnika Opolska

Jolanta Królczyk

Katedra Techniki Rolniczej i Leśnej, Politechnika Opolska

Streszczenie. Celem pracy było przedstawienie skutków zużycia ściernego mieszadła ślimakowego funkcjonującego w przemysłowym mieszalniku pasz oraz wskazanie rozwiązań technicznych zwiększających czas jego pracy. W pracy przedstawiono geometrię mieszadła ślimakowego użytkowanego w pionowym dwutonowym mieszalniku pasz oraz skutki jego zużycia po ok. 2000 godzinach pracy. Na podstawie zaobserwowanych skutków zużycia ściernego mieszadła zaproponowano kilka rozwiązań konstrukcyjnych zwiększających trwałość mieszadła. Największe zużycie ściernie zaobserwowano w dolnej części mieszadła ślimakowego, a mniejsze w środkowej części mieszadła. Stwierdzono również zmianę geometrii mieszadła w postaci zmniejszenia szerokości piór oraz deformacji kształtu piór mieszadła. Autorzy zaproponowali zmianę materiału konstrukcyjnego w kilku wariantach: stal Hardox, blachy napawane kompozytem Castolin, wykonanie piór z blachy S355J2G3, a następnie napawanie ich kompozytem Castolin za pomocą elektrody. Zaproponowano również zwiększenie grubości blachy piór mieszadła na całej długości mieszadła lub w jego środkowej i dolnej części.

Słowa kluczowe: mieszadło ślimakowe, mieszalnik pasz, pasza, zużycie ściernie, Hardox, Castolin

Wprowadzenie

W konstrukcjach inżynierskich jest wiele części użytkowanych w warunkach sprzyjających szybkiemu zniszczeniu. Destrukcja elementu lub konstrukcji może być związana z uszkodzeniem przez plastyczną deformację, powstawaniem pęknięć, korozją lub zużyciem ciernym. Powierzchniowe zużywanie się elementów, które następuje najczęściej wskutek sił tarcia, to obok zjawisk o charakterze korozyjnym podstawowe przyczyny zniszczenia czy obniżenia trwałości maszyn i urządzeń. Problematyka zużywania jest bardzo złożona i wymaga podejścia interdyscyplinarnego [Burakowski i Wierzchoń 1995; Stradomski 2010].

Wielkość zużycia jest uzależniona od rodzajów procesów zużywania i ze względu na ich złożoność analizę procesu można przeprowadzić za pomocą oceny jego skutków. W literaturze jest wiele systematyk zjawiska zużycia. Stradomski [2010] podzielił zużycie cierne w zależności od dominującego mechanizmu na zużycie ściernie (abrazyjne), adhezyjne, zmęczeniowe i zużycie przez utlenianie. Zużycie ściernie jest procesem polegającym na oddzielaniu małych cząstek materiału warstwy wierzchniej spowodowanym obecnością w węzłach tarcia elementów spełniających rolę ścierniwa [Burakowski i Wierzchoń 1995]. Eyre i Scott [1979], przyjmując odmienną systematykę niż Stradomski [2010], stwierdzili, że zużycie ściernie obejmuje aż 50% przypadków zużycia Lawrowski [2008] rozróżnia proces zużywania od zużycia będącego jego wynikiem. Jako zużywanie określa „proces zmian w warstwie wierzchniej ciała stałego, charakteryzujący się ubytkiem masy lub trwałym odkształceniem powierzchni”. Z kolei skutkiem tego procesu jest zużycie mierzone wagowo, liniowo lub objętościowo.

Procesy zużywania ograniczają trwałość maszyn i wymuszają konieczność wykonywania szeregu zabiegów obsługowych, regulacyjnych, naprawczych, które mają na celu przeciwdziałanie zużyciu lub likwidowaniu jego następstw. Optymalizacja doboru materiałów w połączeniu z zastosowaniem właściwych rozwiązań konstrukcyjnych i przestrzeganiem warunków obsługi i eksploatacji powoduje powolne zużycie części [Stradomski 2010].

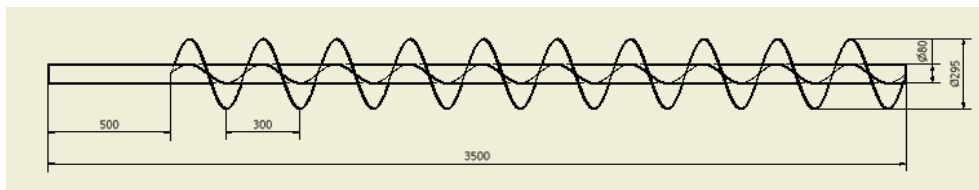
W maszynach, takich jak mieszalniki pasz, warunki eksploatacji mają istotny wpływ na trwałość eksploatacyjną. Trwałość elementów eksploatowanych w mieszalnikach przemysłowych związana jest z procesami trybologicznymi, wynikającymi z charakteru pracy maszyny, stąd w mieszalnikach pojawia się problem właściwej optymalizacji nie tylko konstrukcji elementu, ale także prawidłowego doboru materiału (jego składu chemicznego i struktury fazowej) w aspekcie zwiększenia jakości i trwałości eksploatacyjnej. Problem zużycia mieszadła ślimakowego dotyczy praktycznie każdej mieszalni, w której używane są urządzenia mieszające pasze. Wymiana układu na nowy jest zwykle kosztowna, a regeneracja zużytego, jeżeli w ogóle jest możliwa, również generuje koszty. W kosztach regeneracji należy wziąć pod uwagę straty spowodowane przestojem maszyny, który jest zazwyczaj dłuższy, a przez to bardziej kosztowny niż w czasie wymiany na nowy. Dlatego przy projektowaniu części należy uwzględnić spełnienie kilku wymagań: dobrej wytrzymałości, bardzo dobrej odporności na ścieranie, optymalnej udarność, dzięki czemu w istotny sposób można wydłużyć trwałość eksploatacyjną. Optymalizacja geometrii kształtu części maszyn w połączeniu z wyżej wymienionymi właściwościami umożliwia zapewnienie kryteriów jakościowych i trwałościowych. Z tego względu właściwy dobór materiałów na poszczególne części konstrukcyjne w budowie maszyn jest bardzo istotny z punktu widzenia niezawodności i funkcjonowania urządzenia i ma duży wpływ na podwyższenie trwałości eksploatacyjnej [Łabęcki i in. 2006].

Cel i zakres pracy

Celem pracy była analiza jakościowa problemu trwałości mieszadła ślimakowego i przedstawienie skutków zużycia ściernego mieszadła ślimakowego funkcjonującego w pionowym przemysłowym mieszalniku pasz oraz próba wskazania rozwiązań technicznych zwiększających czas pracy mieszadła.

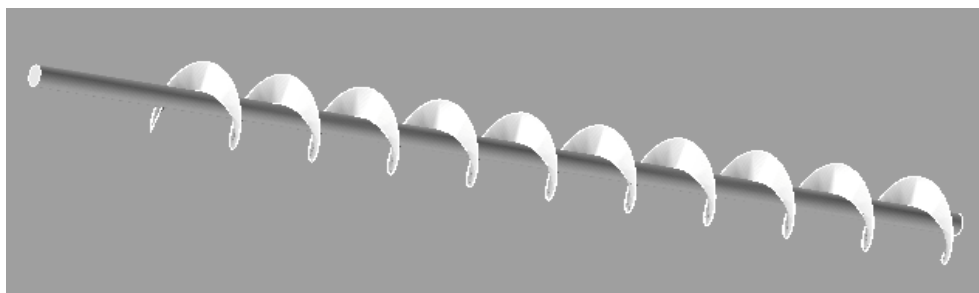
Obserwacje

Obserwacje prowadzono w mieszalni pasz. Geometrię wykonanego ze stali S355J2G3 mieszadła przedstawiono na rysunku 1 oraz jego model na rysunku 2. Grubość blachy, z której wykonano pióra mieszadła wynosiła 4 mm.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 1. Geometria mieszadła ślimakowego
Fig. 1 The geometry of the worm agitator



Źródło: opracowanie własne

Rys. 2. Model mieszadła ślimakowego
Fig. 2 The model of the worm agitator

Model mieszadła oraz wymiary zamieszczono w innej pracy współautora artykułu [Królczyk 2011a; Królczyk 2011b]. Materiałem ziarnistym mieszanym w urządzeniu są mieszanki paszowe dla ptaków o różnym składzie. Mieszane pasze to układy niejednorodne i wieloskładnikowe, gdzie składniki różnią się swoimi parametrami, tj. gęstością nasypową, średnimi wymiarami cząstek czy kształtem. Pasza mieszana jest w procesie przejścia wielokrotnego (recyrkulacji) w układzie: kosz zasypowy, przenośnik kulekowy i mieszalnik pasz. Średni czas mieszania jednej mieszanki wynosi 30 minut. Ponadto mieszadło funkcjonuje chwilowo podczas workowania i uruchamiane jest w celu poprawy jakości mieszanki. Masa jednorazowo mieszanej paszy wynosi od 500 do 2300 kg. Mieszalnia pasz pracuje w jednozmianowym systemie pracy. Szacowany czas pracy mieszadła wynosi ok. 2000 godz.

Wyniki obserwacji i dyskusja



Źródło: *pracowanie własne*

Rys. 3a Zużyte mieszadło pasz

Fig. 3a Worn feed mixer



Źródło: *pracowanie własne*

Rys. 3b Górny fragment mieszadła pasz

Fig. 3b The upper part of a feed mixer



Źródło: *pracowanie własne*

Rys. 3c Dolny fragment mieszadła pasz

Fig. 3c The lower part of a feed mixer

Genezą przedstawionego problemu było zapytanie producenta pasz o możliwość zwiększenia trwałości mieszadła w celu zmniejszenia kosztów i wydłużenia czasu trwałości mieszadła, którego wymiana sprawia trudności i jest czasochłonna. Są to badania wstępne (analiza jakościowa), a zaproponowane rozwiązanie będzie wdrożone w przemyśle. W kolejnej fazie badań przeprowadzona zostanie analiza ilościowa zużycia mieszadła ślimakowego.

W wyniku wstępnych obserwacji największe zużycie mieszadła ślimakowego zaobserwowano w dolnej oraz środkowej jego części, na które działały największe siły tarcia (rys. 3a, 3b i 3c). W dolnej części mieszadła można zauważyć fragmenty piór, które zostały zniekształcone poprzez działające w mieszalniku siły i nie przypominają wyglądem pierwotnej geometrii mieszadła. Można również zaobserwować zmianę geometrii mieszadła, gdyż w dolnej części pióra mieszadła mają mniejszą średnicę niż nowe, nie zużyte. Takie zużycie i deformacje mogą być przyczyną pogorszenia intensywności mieszania i pogorszenia jakości otrzymywanych pasz po dłuż-

szym okresie eksploatacji. Zmiany w obrębie geometrii mieszadła (wymiarów oraz kształt) są jednym z czynników charakteryzujących cechy urządzenia mieszającego, które mają wpływ na efekt zmieszania oraz jego szybkość [Boss 1987].

Zużycie ściernego mieszadła jest problemem eksploatacyjnym mieszalni pasz. Konieczność wymiany mieszadła jest działaniem kosztownym i czasochłonnym. W czasie wymiany mieszadła maszyna nie jest użytkowana, a wymianę mieszadła wykonuje kilku pracowników, z uwagi na trudny dostęp do wnętrza mieszalnika. W celu montażu mieszadło składa się z dwóch części, którego montaż odbywa się we wnętrzu mieszalnika. Obserwacja zużytego mieszadła ślimakowego skłoniła autorów do wysunięcia kilku wniosków oraz propozycji, które mogą wydłużyć czas pracy mieszadła, a przez to zmniejszyć nakłady kosztów poniesionych na zakup nowego mieszadła oraz ograniczyć czas pracy poświęcony na kłopotliwą wymianę mieszadła. Jedną z opcji jest zastąpienie materiału konstrukcyjnego mieszadła ślimakowego ze stali S355J2G3 na stal Hardox lub blachy napawane kompozytem Castolin (napoina CDP 4666 lub CDP 4601 firmy Castolin zaproponowana ze względu na środowisko pracy – temperaturę do 250°C – i grubość blachy wraz z napoiną, tzn. 5 mm + 3 mm). Stale Hardox, według informacji producenta, są określane jako „wysokojakościowe stale odporne na ścieranie”. Stale trudnościeralne charakteryzuje wysoka odporność na zużywanie ściernie, dobra spawalność, wysokie właściwości mechaniczne oraz odporność na obciążenia udarowe [Dudziński i in. 2006; Konat 2007]. Badania porównawcze dotyczące zużycia ściernego stali Hardox 500 i materiałów powszechnie stosowanych przeprowadziła Kapcińska-Popowska [2011]. W pracy wykazano, iż „celowe jest stosowanie stali Hardox 500 w wybranych odpowiedzialnych konstrukcjach maszyn i urządzeń, od których wymaga się wysokich właściwości wytrzymałościowych i ściernych, szczególnie w trudnych warunkach eksploatacji erozyjno-tribologicznej”. Poprzez zastosowanie stali tego rodzaju można w znaczący sposób zwiększyć jakość części maszyn i urządzeń rolniczych oraz wydłużyć ich trwałość eksploatacyjną. Przeprowadzone porównawcze badania trybologiczne i wytrzymałościowe potwierdzają dużą odporność na ścieranie i wytrzymałość na rozciąganie stali Hardox 500. Z kolei w innej pracy dokonano badań dotyczących m.in. obszarów o różnej intensywności zużycia ściernego zsuwni stałej w przesypie koła czerpakowego koparki KWK-1500s [Cygiel i in. 2006]. Materiał do badań stanowiły stale S355J2G3, stale Hardox oraz płyty wykładzinowe ze stali Hardox 500. Porównawcza ocena stanu zsuwni po 595 godzinach eksploatacji wykazała, iż doszło do całkowitego starcia warstwy napawanej stali S355J2G3 (grubość 5 mm), co spowodowało utratę właściwości eksploatacyjnych płyt. Stale Hardox 400 wykazały zużycie ściernie do grubości ok. 3-4 mm w strefie o największej intensywności zużycia ściernego. Stale te wykazały zachowanie płaskiej i gładkiej powierzchni bez pęknięć i wykruszeń, podczas gdy płyty napawane ze stali S355J2G3 wykazały zaokrąglenia na krawędziach. Najmniejsze zużycie ściernie wykazały płyty wykładzinowe ze stali Hardox 500. Wykonanie mieszadła ślimakowego ze stali Hardox jest jednak przedsięwzięciem bardziej kosztownym niż użycie stali S355J2G3. Cenę mieszadła zwiększa koszt blach Hardox (są one ponad dwukrotnie droższe) oraz sam proces produkcji piór mieszadła. Pióra wykonywane z blachy Hardox, aby nie straciły swoich właściwości, powinny być gięte na zimno, co znacząco zwiększa pracochłonność. Użycie do produkcji piór blach napawanych kompozytem Castolin jest procesem łatwym i szybszym, ale sam koszt blach napawanych jest znacząco większy (dwudziestokrotnie) niż zwykłej blachy S355J2G3. Innym problemem jest sama grubość blach napawanych kom-

pozytem Castolin, która zaczyna się od 8 mm (5 mm grubość blachy oraz 3 mm grubość napoiny). Optymalizując koszty produkcji mieszadła ślimakowego, bez konieczności zmniejszania trwałości zasadnym jest wykonanie piór z blachy S355J2G3, a następnie napawanie ich kompozytem Castolin za pomocą elektrody. Obserwacje zużytego mieszadła wykazują większe zużycie od strony pchającej, stąd zaleca się, aby napoina od strony pchającej miała grubość większą niż od strony niepchającej. Konieczne jest również napawanie krawędzi piór mieszadła. Alternatywą dla kompozytu Castolin może być metaliczna napoina Kalmetall o podobnych właściwościach i nieco niższej cenie (ok. 10%).

Innym rozważanym sposobem zwiększenia czasu pracy mieszadła jest zmiana geometrii mieszadła dla obecnie stosowanej stali S355J2G3 poprzez zwiększenie grubości blachy pióra z 4 mm do np. 6 mm na całej długości mieszadła bądź w jego środkowej i dolnej części. Należy uwzględnić także, że kontakt materiału ziarnistego z górną częścią mieszadła następuje podczas zasypu komponentów do mieszalnika, natomiast podczas recyrkulacji część składników opuszcza mieszalnik i znajduje się w koszu zasypowym oraz w kubelkach przenośnika. Nawinięcie pióra o dwóch grubościach blachy (grubszej w dolnej i środkowej części) jest technologicznie stosunkowo łatwe do wykonania, a nie niesie ze sobą znacznego wzrostu kosztów, tak jak miałyby to miejsce w przypadku zastosowania innej stali niż obecnie używana. W procesie produkcji mieszadła ślimakowego należy zwrócić uwagę na montaż piór. Pióra powinny być mocno dociągnięte do rury w procesie spawania piór, gdyż w innym przypadku konieczne będzie przetoczenie całego mieszadła w dolnej jego części. Proces ten niesie za sobą dodatkowe koszty, co zwiększa cenę mieszadła.

Zaproponowane różne rozwiązania konstrukcyjne wydłużające czas pracy mieszadła wynikają z doświadczenia praktycznego w zakresie produkcji części maszyn oraz samych maszyn, w tym również mieszadeł stosowanych w różnych gałęziach przemysłu oraz propozycje te poparte są studiami literaturowymi dotyczącymi zużycia ściernego różnych materiałów konstrukcyjnych.

Można również rozważyć zmianę geometrii mieszadła poprzez zmianę skoku mieszadła, jednak trudno prognozować wpływ tej zmiany na czas pracy mieszadła bez wykonania jakichkolwiek badań wstępnych.

Wnioski

1. Jedną z przyczyn deformacji konstrukcji mieszadła może być produkowanie paszy z zanieczyszczonego materiału wsadowego (dużo krzemionki, np. piasku). Proponuję się wstępne dokładne oczyszczenie materiału na sitach.
2. W dolnej części mieszadła zaobserwowano największą zmianę geometrii mieszadła w postaci zmniejszenia szerokości piór oraz deformacji kształtu piór mieszadła, co może prowadzić do pogorszenia intensywności mieszania i w rezultacie pogorszenia jakości paszy.
3. Na podstawie studiów literaturowych oraz najnowszych wytycznych dla konstruktorów zaproponowano zmianę materiału konstrukcyjnego mieszadła ze stali S355J2G3 na stal trudnościeralną Hardox lub blachy napawane kompozytem Castolin bądź wykonanie

piór z blachy 18G2A, a następnie napawanie ich kompozytem Castolin za pomocą elektrody.

4. Zaproponowano zmianę geometrii mieszadła wykonanego ze stali S355J2G3 z blachy grubszej niż dotychczas stosowana o grubości 6 mm na całej długości mieszadła lub tylko środkowej i dolnej części. Rozwiązanie to niewiele zwiększa koszt produkcji mieszadła ślimakowego.

Bibliografia

- Boss J.** (1987): Mieszanie materiałów ziarnistych. PWN, Warszawa – Wrocław, ISBN 83-01-07058-7.
- Burakowski T., Wierchoń T.** (1995): Inżynieria powierzchni metali. WNT Warszawa, 110-120.
- Cygiel L., Konat L., Pawłowski T., Pękalski G.** (2006): Stale Hardox – nowe generacje materiałów konstrukcyjnych maszyn górnictwa odkrywkowego. Węgiel brunatny, 3 (56).
- Dudziński W., Konat L., Pękalska L., Pękalski G.** (2006): Struktury i właściwości stali Hardox 400 i 500. Inżynieria Materiałowa, 3(151), 139-142.
- Eyre T.S., Scott D.** (1979): Wear resistance of metals. Treatise on Materials Science, 13, 363.
- Kapcińska-Popowska D.** (2011): Porównawcze badania zużycia ściernego nowej generacji stali Hardox 500 i materiałów powszechnie stosowanych. Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering, Vol. 56(1), 66.
- Konat L.** 2007. Struktury i właściwości stali Hardox a ich możliwości aplikacyjne w warunkach zużywania ściernego i obciążeń dynamicznych. Praca doktorska. Instytut Materiałoznawstwa i Mechaniki Technicznej, Politechnika Wrocławska. Wrocław. Maszynopis.
- Królczyk J.** (2011a): Analiza zmian jakości wieloskładnikowych mieszanin ziarnistych na linii mieszania w przemyśle wytwórni pasz. Inżynieria Rolnicza, 5(130), 125-133.
- Królczyk J.** (2011b): Określenie efektywnego czasu mieszania z recykulacją składników dla dziesięcioskładnikowej mieszanki paszowej. Inżynieria Rolnicza, 5(130), 135-141.
- Lawrowski Z.** (2008): Tribologia. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej. ISBN 978-83-7493-383-4.
- Łabęcki M., Krysztofiak A., Pawłowski T., Mielec K., Gościński M., Radniecki J., Kapcińska D.** (2006): Uruchomienie produkcji odlewów części zamiennych do maszyn rolniczych z wysokojaściowego, stopowego żeliwa sferoidalnego. Zadanie 1: Badania warunków pracy i zużycia wybranych elementów maszyn rolniczych pracujących w glebie. Projekt celowy finansowany z funduszy strukturalnych UE WKP_1/1.4. 1/1/2005/12/12/229, Prace PIMR, TT-2/2006.
- Stradomski Z.** (2010): Mikrostruktura w zagadnieniach zużycia stali trudnościeralnych. Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej. Seria Monografie nr 188. ISBN 978-83-7193-468-1.

ANALYSIS OF THE STABILITY ISSUE OF THE WORM AGITATOR

Abstract: The aim of this study was to present the effects of abrasive wear of a worm agitator operating in the industrial feed mixer and to indicate the technical solutions that increase operational time thereof. The paper presents the geometry of the agitator operated in a vertical two-tonne mixer and the consequences of its use after about 2000 hours of operation. On the basis of the observed effects of wear of the agitator, several design solutions, that increase the life time of the agitator, were suggested. The greatest wear was observed in the bottom of the worm agitator, slightly smaller in the middle thereof. A change of the geometry of the agitator was also discovered in the form of the reduced width of agitator blades and the deformation of the shape of agitator blades. The authors proposed a modification in the structural material in several versions: Hardox steel, Castolin composite padded sheet, execution of blades of S355J2G3 sheet, and then padding them with Castolin composite using an electrode. Increasing the thickness of blades on the entire length of the agitator or in the middle and lower sections of the agitator was also suggested.

Key words: worm agitator, feed mixer, fodder, abrasive wear, Hardox, Castolin

Adres do korespondencji:

Jolanta Królczyk; e-mail: j.krolczyk@po.opole.pl
Katedra Techniki Rolniczej i Leśnej
Politechnika Opolska
ul. Mikołajczyka 5
45 - 271 Opole



*Dofinansowanie ze środków Wojewódzkiego Funduszu Ochrony Środowiska
i Gospodarki Wodnej w Opolu*