

ANALIZA UBYTKU WŁAŚCIWOŚCI UŻYTKOWYCH NOŻY PIELNIKA AKTYWNEGO

Radosław Patyk, Leon Kukiełka, Krzysztof Kukiełka,
Agnieszka Kułakowska, Katarzyna Szczepanik

Katedra Mechaniki Technicznej i Wytrzymałości Materiałów, Politechnika Koszalińska

Streszczenie. Praca dotyczy analizy ubytku właściwości użytkowych noży pielnika aktywnego produkowanych przez firmę AKPIL. Zakres analiz obejmuje: obliczenia numeryczne stanu naprężeń podczas uderzeń i analizę zmęczeniową oraz laboratoryjne badania odporności na zużycie ściernie i zniszczenie pod wpływem uderzenia o kamień. W wyniku przeprowadzonych badań laboratoryjnych opracowano zależność zmian procentowego ubytku masy w funkcji czasu pracy dla różnych rodzajów noży.

Słowa kluczowe: ubytek właściwości użytkowych, zużycie ściernie, zmęczenie materiału, MES

Wprowadzenie

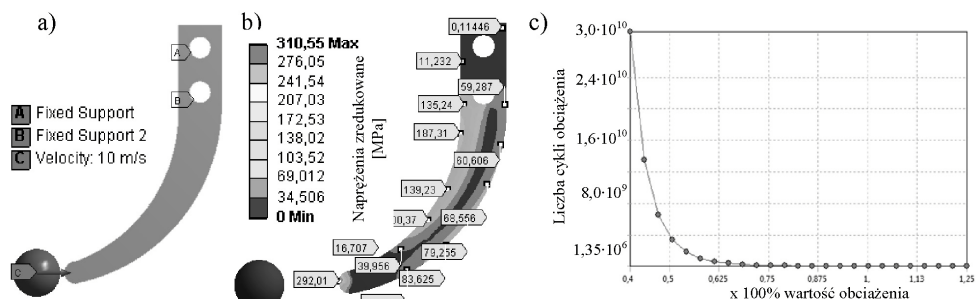
Maszyna MULTIPIEL firmy AKPIL z Pilzna, w zależności od konfiguracji podzespołów może pełnić rolę pielnika aktywnego, glebogryzarki lub ścinacza do łęcin ziemniaków. W celu uzyskania z maszyny MULTIPIEL pielnika aktywnego należy zamontować wał roboczy z odpowiednimi prostymi nożami. Celem pracy jest analiza ubytku właściwości użytkowych różnego rodzaju noży oferowanych przez producenta. Analizę ograniczono do następujących właściwości użytkowych: wytrzymałość na obciążenia dynamiczne, odporność na zużycie zmęczeniowe oraz odporność na zużycie udarowo-ściernie. Ze względu na dobrze rozwinięte i uznane w technice rozwiązanie z zastosowaniem metody elementów skończonych (MES) dwie pierwsze właściwości wyznaczono na drodze numerycznej, natomiast odporność na zużycie udarowo-ściernie wyznaczono eksperymentalnie na zbudowanym do tego celu stanowisku badawczym. Analizie poddano trzy noże różniące się materiałami i technologiami wykonania oraz cenami brutto zakupu: noże ze stali 1.2842 (31,39 zł·szt.⁻¹), ze stali 1.2842 z dodatkowo wykonaną napoiną OK 83.65 firmy ESAB na części roboczej najbardziej narażonej na ścieranie (37,66 zł·szt.⁻¹) oraz noże ze stali X120Mn13 (tzw. stal Hadfielda) (58,58 zł·szt.⁻¹). Stal narzędziowa do pracy na zimno 1.2842 stosowana jest głównie na sprawdziany, gwintowniki i narzynki, wykrojniki, noże i stemple. Jej początkowa granica plastyczności wynosi $Re = 450$ MPa, twardość w stanie miękkim ok. 230 HB, natomiast twardość po hartowaniu i odpuszczaniu w zależności od zastosowanych temperatur obróbki cieplnej 44÷61 HRC. Zastosowanie napoiny OK 83.65 ma na celu zwiększenie odporności na zużycie ściernie poprzez lokalne podwyższenie twardości do ok. 58÷63 HRC. Stal X120Mn13 jest to specjalna stal austenityczna, charak-

teryzująca się bardzo dużą skłonnością do umocnienia podczas pracy. Stosowana jest głównie na elementy szczególnie narażone na ścieranie przy dużych naciskach: kosze koparek, gąsienice ciągników i rozjazdy kolejowe. Twardość takiej stali wynosi ok. 500 HB, zaś początkowa granica plastyczności $Re = 470$ MPa [Blicharki 1998]. Zastosowane w pielniku aktywnym noże powinny charakteryzować się wysoką odpornością na ścieranie oraz jednocześnie wysoką odpornością na obciążenia udarowe. Z tego względu najlepszym rozwiązaniem byłoby uzyskanie noża o miękkim rdzeniu, który przenosiłby obciążenia udarowe oraz twardej warstwie wierzchniej. Pod względem odporności na zużycie ściernie wiadomo, że najkorzystniejszym z wymienionych gatunków materiałów jest stal X120Mn13. Jednakże zróżnicowanie cen producenta powoduje, że wybór przez rolnika gatunku noży nie jest już oczywisty. Pierwszym etapem analiz jest określenie stanu naprężeń występujących podczas dynamicznego obciążania oraz odporności na zjawisko zmęczenia materiału. Analizy te przeprowadzono z zastosowaniem MES. Uzyskane wyniki analiz numerycznych już na etapie projektu mogą wyeliminować błędne rozwiązania konstrukcyjne a przez to zmniejszyć koszty prototypowania.

Numeryczne analizy wytrzymałościowe

W programie SolidWorks opracowano model bryłowy noża, natomiast obliczenia przeprowadzono w programie Ansys/LS-DYNA [Ansys version 12.1]. W modelu komputerowym założono, że nóż jest wykonany z materiału sprężysto/lepko-plastycznego (E/VP) o parametrach odpowiadających stali 1.2842 [Kleiber M. 2000]. Pominięto wpływ chropowatości powierzchni noża, wpływ zjawisk cieplnych oraz wpływ tarcia występującego w mocowaniu. Nie analizowano wpływu zastosowanej napoiny na naprężenia zredukowane występujące podczas pracy noża [Tarnowski 2001]. Model geometryczny dyskretyzowano na 89962 tetragonalnych elementów skończonych (157338 węzłów). Z danych konstrukcyjnych wynika, że koniec noża podczas pracy zagłębia się w glebie z prędkością liniową $V=10$ m·s⁻¹. Założono, że koniec noża uderza w kamień o masie nieprzekraczającej $m=0,7$ kg, czyli średnicy ok. $d=8$ cm (większe kamienie nie powinny występować na polu). Model bryłowy z warunkami brzegowo-początkowymi przedstawiono na rysunku 3a. Po przeprowadzonych symulacjach uzyskano wyniki rozkładu naprężeń zredukowanych przedstawionych na rysunku 1b [Patyk i in. 2009]. Do analizy zmęczeniowej założono, że na nóż oddziałują obciążenia jednostronnie zmienne. Dla takich założeń uzyskano wyniki zmian trwałości noży w zależności od wartości ich obciążania (przy czym 100% obciążenia odpowiada uderzeniu końca noża z prędkością liniową $V=10$ m·s⁻¹ w kamień o masie 0,7 kg) przy nieuwzględnianiu zjawiska zużycia ściernego. Wówczas najmniejsza liczba cykli zmian obciążenia jaką wytrzyma nóż wynosi $n_{\min}=7,9 \cdot 10^6$ (przy 100% obciążeniu) (rys. 1c).

Po analizie wyników symulacji komputerowych stwierdzono, że noże są poprawnie zaprojektowane i najprawdopodobniej rodzajem zużycia powodującym potrzebę ich wymiany będzie zużycie ściernie. W celu oceny trwałości noży przeprowadzono laboratoryjne badania procesu ich zużycia ściernego.



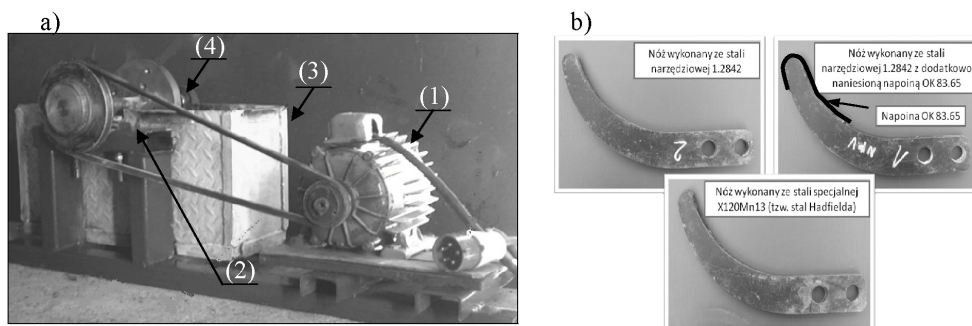
Źródło: obliczenia własne autorów

Rys. 1. Wyniki symulacji komputerowych: a) model wraz z warunkami początkowymi i brzegowymi, b) rozkład naprężeń, c) krzywa zużycia zmęczeniowego

Fig. 1. The results of computer simulations: a) the model with the initial and boundary conditions, b) the stress distribution, c) the curve of fatigue wear

Laboratoryjne badania odporności na zużycie ścierne

Stanowisko laboratoryjne do badań eksperymentalnych procesu zużycia udarowo-ściernego noża pielnika aktywnego oraz badane noże przedstawiono na rysunku 2. Podstawowe części składowe urządzenia to: asynchroniczny klatkowy silnik elektryczny (1), przekładnia pasowa (2), kosz zasypowy o objętości $D=1 \text{ m}^3$ (3) i tarcza do mocowania noży (4). Konstrukcja przekładni jest taka, aby uzyskać stałą liczbę obrotów tarczy z nożami wynoszącą $n=4,5 \text{ obr}\cdot\text{s}^{-1}$, zapewniająca prędkość liniową końca noża $V=10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.



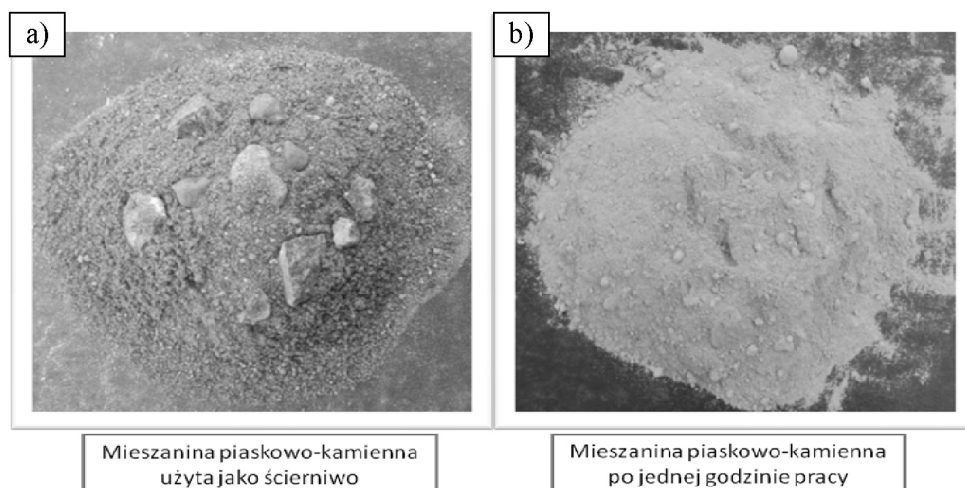
Źródło: opracowanie własne autorów

Rys. 2. Stanowisko do badań odporności na zużycie ścierne noży pielnika aktywnego (a) oraz widok badanych noży (b)

Fig. 2. The research stand of fatigue wear of the active drill hoe knives (a) and knives view (b)

Mieszankę ścierną przygotowano z gleby, żwiru i kamieni (rys. 3). Ze względu na to, że mieszanina ulegała rozdrobnieniu wymieniano ją po każdej godzinie pracy. Każdorazowo po wymianie mieszaniny masowy udział składników był taki sam. Zastosowana

w badaniach mieszanina miała za zadanie symulować warunki na polach zakamienionych oraz spowodować przyspieszone zużycie ściernych noży.

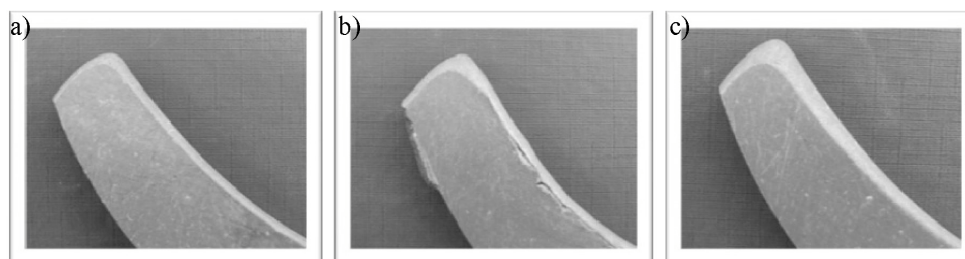


Źródło: opracowanie własne autorów

Rys. 3. Mieszanka ścierna stosowana w badaniach: a) widok przed badaniami, b) widok po jednej godzinie pracy

Fig. 3. The grinding mixture used in the investigations: a) the view before investigations, b) the view after one hour run

Na rysunku 4 przedstawiono zdjęcia zużytych końców noży podczas badań.



Źródło: opracowanie własne autorów

Rys. 4. Zużycie ściernych końców noży po dziewiętnastu godzinach pracy na stanowisku laboratoryjnym a) nóż ze stali 1.2842, b) nóż ze stali 1.2842 z napoiną OK 83.65 oraz c) nóż ze stali X120Mn13

Fig. 4. The results of the abrasive wear of the knives points after nineteen hours of work at the laboratory position: a) the steel knife 1.2842, b) the steel knife 1.2842 with padding weld OK 83.65, and c) the steel knife X120Mn13

Analiza ubytku właściwości...

Do oceny zużycia ściernego zastosowano metodę wagową. Noże ważono po każdej godzinie pracy z dokładnością ± 1 g. Wyniki badań zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Procentowy ubytek masy noży
Table 1. The percentage mass loss of the knives

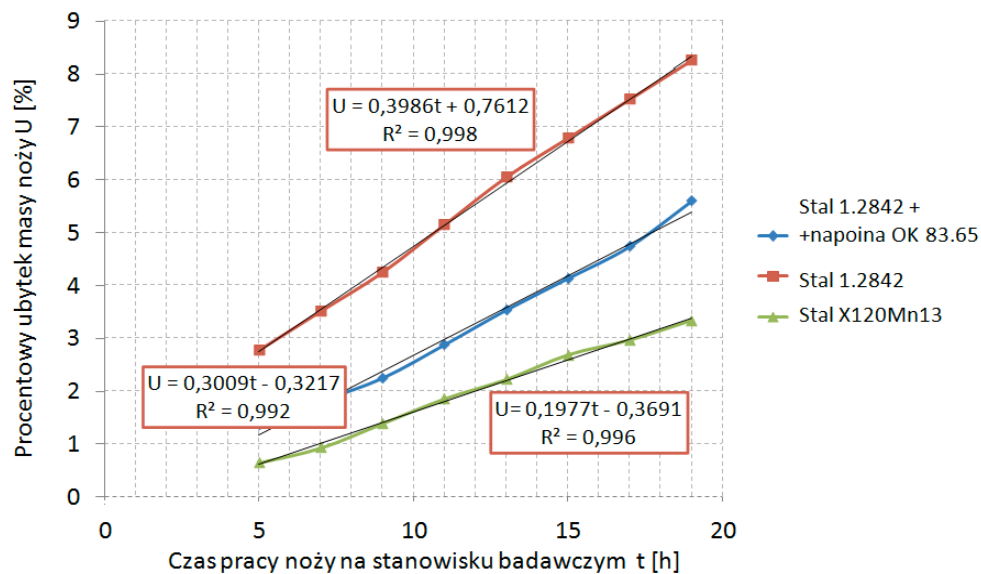
Materiał noży	Próba	Czas pracy noży t [h]											
		0	1	2	3	5	7	9	11	13	15	17	19
		Procentowy ubytek masy U [%]											
1.2842	I	0	0,98	1,31	1,8	2,29	3,11	4,09	4,91	5,89	6,55	7,20	8,02
	II	0	1,31	1,80	2,45	3,27	3,93	4,42	5,40	6,22	7,04	7,86	8,51
	III	0	1,15	1,56	2,13	2,78	3,52	4,26	5,16	6,06	6,80	7,53	8,27
1.2842+ napoina OK 83.65	I	0	0,17	0,52	0,86	1,03	1,55	1,90	2,47	3,10	3,79	4,48	5,34
	II	0	0,52	0,86	1,38	1,72	2,07	2,59	3,28	3,97	4,48	5,00	5,86
	III	0	0,35	0,69	1,12	1,38	1,81	2,25	2,88	3,54	4,14	4,74	5,60
X120Mn13	I	0	0	0	0	0,74	0,93	1,30	1,67	2,22	2,59	2,78	3,15
	II	0	0	0	0	0,56	0,93	1,48	2,04	2,22	2,78	3,15	3,52
	III	0	0	0	0	0,65	0,93	1,39	1,86	2,22	2,69	2,97	3,34

Źródło: Opracowanie własne autorów

Stwierdzono, że podczas pierwszych pięciu godzin pracy na stanowisku laboratoryjnym procentowy ubytek masy zmienia się w sposób nieliniowy. W tym czasie dla stali X120Mn13 ubytek wynosił poniżej 1 g. Z punktu widzenia naukowego ten zakres czasu pracy jest niezwykle ciekawy i wymaga jeszcze wielu badań, jednakże z punktu widzenia eksploatatora istotniejsze są wyniki uzyskiwane w dalszym czasie pracy. Dlatego też opracowano wykresy procentowego ubytku masy badanych noży dla czasu pracy od pięciu do dziewiętnastu godzin. Stwierdzono, że w tym przedziale czasu procentowy ubytek masy ma liniowy charakter zmian. Dla poszczególnych materiałów opracowano funkcje regresji (rys. 5).

Wnioski

1. Na podstawie analizy wyników badań, stwierdzono, że w pierwszych pięciu godzinach pracy noży procentowy ubytek masy w czasie zmienia się w sposób nieliniowy.
2. Stwierdzono, że dla wszystkich badanych noży po czasie pięciu godzin pracy na stanowisku laboratoryjnym zmiany procentowego ubytku masy w czasie mają charakter liniowy.
3. Opracowane aplikacje numeryczne w programie ANSYS/LS-DYNA mogą być pomocne do projektowania noży w firmach produkujących.
4. Opracowane funkcje i wykresy mogą stanowić podpowiedź przy zakupach noży do pielniaka aktywnego firmy AKPIŁ, jak dokonać najkorzystniejszego wyboru noży z punktu widzenia eksploatatora. Po 19 godzinach pracy na stanowisku laboratoryjnym dla stali 1.2842 stwierdzono procentowy ubytek masy $U=8,33\%$, dla stali 1.2842 z wykonaną napoiną procentowy ubytek masy $U=5,39\%$, zaś dla stali X120Mn13 procentowy ubytek masy $U=3,39\%$.



Źródło: opracowanie własne autorów

- Rys. 5. Wykres zmian procentowego ubytku masy noży w czasie pracy na stanowisku laboratoryjnym
- Fig. 5. The graph of percentage changes of mass loss of the knives during the time of work on laboratory position

Bibliografia

- Blicharki M.** 1998. Wstęp do inżynierii materiałowej. WNT. Warszawa. ISBN 83-204-2301-5
- Kleiber M.** 2000. Wykłady z nieliniowej termo-mechaniki ciał odkształcalnych. Politechnika Warszawska, Warszawa. Maszynopis.
- Patyk R., Kukielka L.** 2009. Prognozowanie wytrzymałości zmęczeniowej zęba kultywatora z wykorzystaniem metod numerycznych. Inżynieria Rolnicza. Nr 9(118). s. 181-187
- Tarnowski W.** 2001. Symulacja i optymalizacja w MATLAB'ie. WSM. Gdynia. ISBN 83-87438-81-2.
- Ansys version 12.1** – Theory Manual, Elan Compute Group Inc., 2003.

ANALYSIS OF THE LOSS OF FUNCTIONAL PROPERTIES OF THE KNIVES OF ACTIVE HOE

Abstract. The paper concerns the analyses of the loss of functional properties of the knives of active hoe by AKPII. The range of analyses includes: the numerical calculation of stress state during impact, fatigue analysis and laboratory researches of abrasion resistance and stone damage resistance. As the result of laboratory researches that were conducted, the dependency of changes of percentage mass loss was estimated in the function of work duration for different types of knives.

Key words: the loss of functional properties, abrasion, material fatigue, FEM,

Adres do korespondencji:

Radosław Patyk; e-mail: radoslaw.patyk@tu.koszalin.pl
Katedra Mechaniki Technicznej i Wytrzymałości Materiałów
Politechnika Koszalińska
ul. Raławicka 15-17
75-620 Koszalin