

ANALIZA ZMIAN STRUKTURY WEWNĘTRZNEJ ZIARNA PSZENICY W PROCESIE ZGNIOTU

L. Romański, R. Stopa

Instytut Inżynierii Rolniczej AR, ul. Chelmońskiego 37/41, 51- 630 Wrocław
e-mail: romanski@imr.ar.wroc.pl, stopa@imr.ar.wroc.pl

Streszczenie. Przedstawiono analizę zmian struktury wewnętrznej ziarna pszenicy Navigator w procesie jej zgniatania. Bazując na wykresie wytrzymałościowym obciążenie-odkształcenie zdefiniowano kolejne fazy destrukcji ziarna oraz określono charakterystyczne dla poszczególnych faz obrazy struktury wewnętrznej ziarna. Analizę przeprowadzono przy wykorzystaniu mikroskopu skaningowego.

Słowa kluczowe: ziarniak pszenicy, fazy zgniotu, proces pęknięcia, zdjęcia mikroskopowe.

WSTĘP

Zmniejszanie energochłonności rozdrabniania ziarna na paszę jest możliwe z jednej strony poprzez wyhodowanie odmian, które byłyby podatne na rozdrabnianie, a z drugiej poprzez stosowanie urządzeń rozdrabniających charakteryzujących się niskim zapotrzebowaniem energii jednostkowej. Urządzeniami takimi są rozdrabniacze walcowe, a ściślej mówiąc gniotowniki walcowe. Działania zmierzające do zmniejszania energochłonności procesów przygotowania pasz w obecnej chwili powinny być poparte badaniami pozwalającymi na poznanie mechanizmu zgniotu ziarna, ze szczególnym uwzględnieniem mechaniki pęknięcia. Jednym z etapów takich badań jest analiza zmian struktury wewnętrznej ziarna pod wpływem obciążenia zewnętrznego.

Istotnym zjawiskiem mającym wpływ na przebieg tego procesu jest pęknięcie. Należy zauważyć, że dochodzi do niego również, tym razem w sposób nieplanowany

i niekontrolowany, w czasie transportu ziarna, w czasie siewu w szczelinie aparatu wysiewającego, czy też w trakcie przechowywania w silosie [4]. Badania jakościowe makro i mikrouszkodzeń ziarna pszenicy poddawanego zgniatanemu prowadzili również Gąska i Kolowca [3]. Z uwagi jednak na ograniczony aparat badawczy nie byli w stanie obserwować zmian strukturalnych, co okazało się możliwe dopiero po zastosowaniu mikroskopu skaningowego.

CEL BADAŃ

Celem badań była analiza zmian struktury wewnętrznej ziarna pszenicy pod wpływem sił występujących w szczelinie roboczej gniotownika walcowego ze szczególnym uwzględnieniem procesu pęknięcia, ustalenie granic poszczególnych faz zgniotu oraz zdefiniowanie charakterystycznych obrazów struktury odpowiadającym każdej z faz.

MATERIAŁ I METODY

Głównym założeniem tych badań, odróżniającym je od innych prowadzonych między innymi na nasionach roślin strączkowych [2] było to, że obrazy odkształczanych przekrojów ziarna pszenicy obserwowano bezpośrednio po zadaniu obciążenia. Aby było to możliwe zbudowano miniaturowy przyrząd obciążający, umożliwiający wymuszenie układu sił odpowiadający takiemu, jaki panuje w szczelinie roboczej gniotownika, a jednocześnie mieszczący się w przestrzeni roboczej mikroskopu skaningowego. Składał się on z dwóch ruchomych szczęk, do przesuwania, których zastosowano śrubę M8 z drobnozwojnym gwintem o skoku 0,5 mm. W celu zapewnienia podobnej geometrii obciążenia jak w szczelinie roboczej gniotownika [7] płytki były ustawione pod kątem 7° w stosunku do osi pionowej. Równomierność przesuwu szczęk gwarantowały dwa równoległe wałki prowadzące o średnicy 3 mm, umieszczone po obu stronach śruby napędowej. Podziałka wałków wynosiła 10 mm. Dokładność zadawania odkształceń w przyrządzie obciążającym wynosiła 0,04 mm.

Po dokonaniu wzorcowania przy użyciu maszyny wytrzymałościowej Instron na podstawie wartości wymuszonego przesunięcia szczęk określano wartość siły obciążającej. Po wymuszeniu założonej wartości odkształcenia (szerokość szczeliny roboczej zmniejszano o 0,2; 0,5; 0,8; 1,7; 2,2 mm), powierzchnię przekroju poprzecznego napyłano węglem i złotem, a następnie umieszczano całość (wraz z przyrządem obciążającym) w komorze roboczej skaningowego mikroskopu elektronowego.

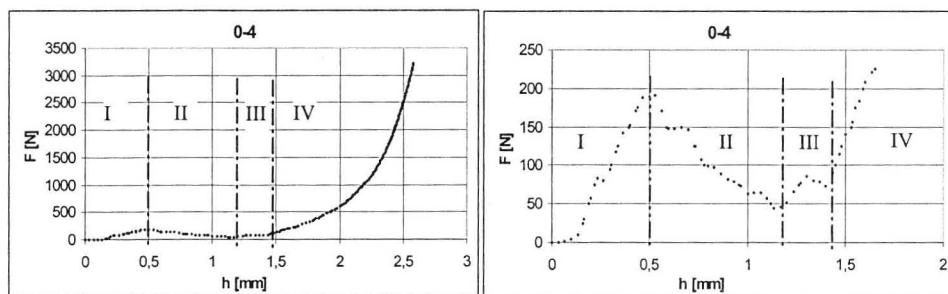
Badanym materiałem była pszenica Navigator o wilgotności 11,8% i szkliwości 100%. Wykorzystywano jedynie takie ziarna, które pozbawione były widocznych uszkodzeń, zarówno zewnętrznych jak i wewnętrznych. Uszkodzenia wewnętrzne identyfikowano zgodnie z metodyką Niewczasa [6]. Ziarno przeznaczone do badań mikroskopowych przed umieszczeniem w przyrządzie obciążającym przecinano prostopadłe do osi dłuższej. Wiązało się z tym przyjęcie założenia, że w przekroju poprzecznym ziarna występuje płaski stan naprężeń.

Próby przecinania ziarna po zadaniu obciążenia w przyrządzie zakończyły się niepowodzeniem. W czasie przecinania naprężenia będące efektem wymuszonego obciążenia sumowały się z powstałymi podczas przecinania. Manifestowało się licznymi pęknięciami ziarna nawet już w fazie odkształceń proporcjonalnych.

Przed przystąpieniem do badań mikroskopowych przeprowadzono analizę procesu zgniotu ziarna pszenicy pomiędzy płytami maszyny wytrzymałościowej Instron. Pozwoliło to na wyznaczenie charakterystycznych faz zgniotu oraz ustalenie wartości odkształceń ziarna w przyrządzie obciążającym.

WYNIKI BADAŃ

W wyniku próby ściskania ziarna pszenicy w maszynie wytrzymałościowej Instron otrzymano zależność odkształcenia w funkcji siły obciążającej (Rys.1). Szczegółowa analiza tego wykresu pozwala na wyznaczenie charakterystycznych przebiegów krzywych ściskania, nazwanych fazami zgniotu.



Rys. 1. Krzywa zgniatania ziarna pszenicy Navigator. Wilgotność 11,8%, ułożenie na brzusku (rysunek prawy - powiększenie początkowego okresu zgniatania).

Fig. 1. Load displacement diagram deformation for Navigator kernel of 11,8% m.c.- most stable position (right picture- enlarged graph fragment).

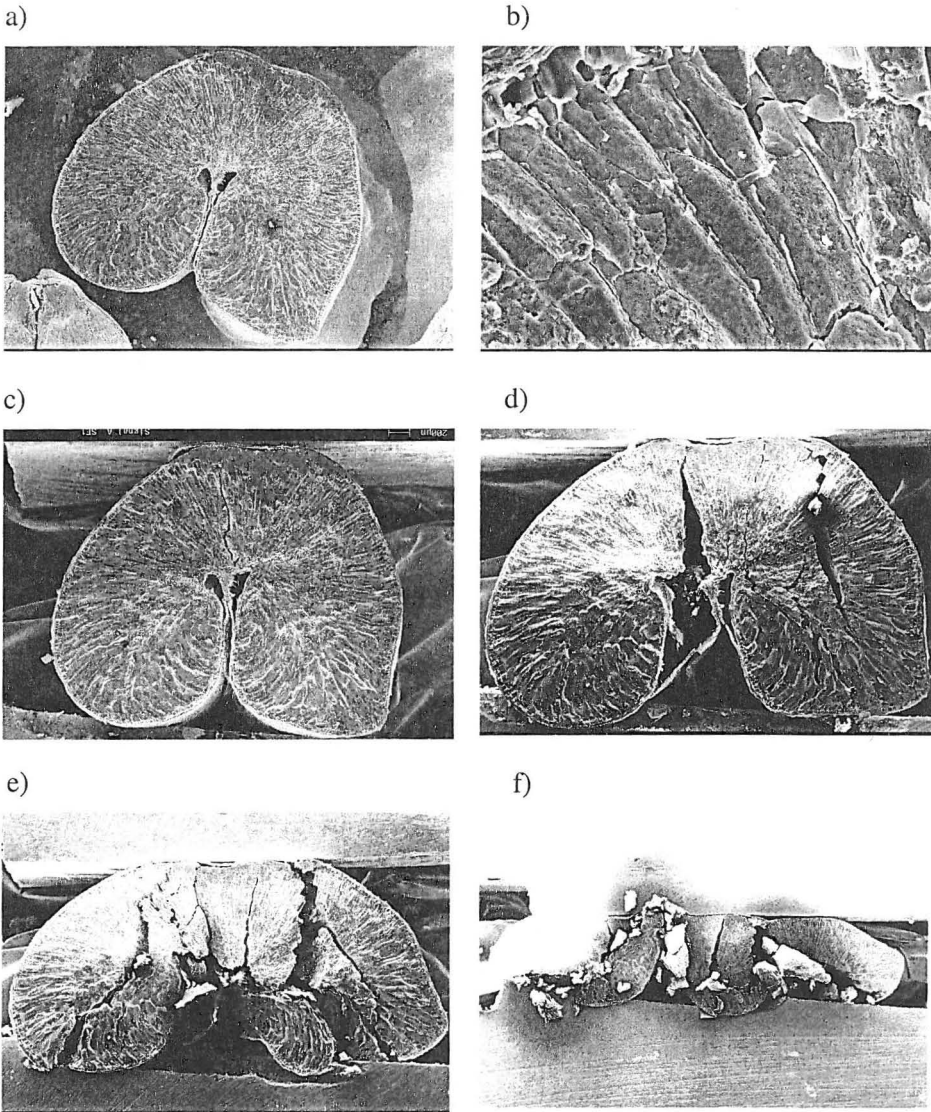
Można zauważyć, że proces zgniotu składa się z czterech wyodrębnionych faz. Pierwsza faza (odkształcenie bezwzględne od 0 do 0,50 mm) to etap odkształceń sprężystych charakteryzujący się proporcjonalną zależnością siły obciążającej od odkształcenia, druga faza (odkształcenie bezwzględne od 0,50 do 1,18 mm) to gwałtowny spadek obciążenia przy niewielkim przyroście odkształcenia. Faza trzecia (odkształcenie bezwzględne od 1,18 do 1,45 mm) to duży przyrost odkształcenia przy stałej wartości siły obciążającej bliskiej zeru. Ostatnia faza (odkształcenie bezwzględne powyżej 1,45 mm) obejmuje stały przyrost siły obciążającej w funkcji odkształcenia.

Przekroje ziarna poddawane rosnącym odkształceniom pokazano na Rys. 2. Na Rys. 2a widoczny jest przekrój poprzeczny ziarna nieobciążonego z charakterystycznym promienistym ułożeniem komórek, o bardzo wydłużonym kształcie, typowym dla ziarna szklistego - twardego. Metoda rentgenograficzna nie wykazała uszkodzeń wewnętrznych, również nie są one widoczne przy powiększeniu 66x. Analizując zdjęcia mikroskopowe przekrojów poprzecznych nieobciążonych ziaren, wykonane przy powiększeniu ok. 900x, można zauważyć wiele mikropęknięć struktury i należy stwierdzić, że jest to typowe zjawisko i normalny stan ziarna.

W ziarnach pszenicy miękkiej mikropęknięcia przebiegają najczęściej wzdłuż granicy komórek ziaren jak i samych ziaren skrobi, potwierdza to wcześniejsze spostrzeżenie Blackeneya [1]. Natomiast w przypadku pszenicy twardej obserwuje się również pęknięcia w poprzek komórek ziarna (Rys. 2b). Długość pęknięć najczęściej wynosi 30- 90 μm .

Obserwując siatkę mikropęknięć na powierzchni przekroju poprzecznego można wnioskować zarówno o kierunkach odkształceń głównych jak i o ich wartościach. Przy zwiększaniu obciążenia, pęknięcia leżące równolegle do kierunku maksymalnych odkształceń nie powiększają się, a wielu przypadkach zanikają. Te mikropęknięcia, których kierunek jest prostopadły do kierunku maksymalnych odkształceń ulegają powiększeniu i łączą się w szczeliny. Kierunki maksymalnych odkształceń są ściśle związane z kierunkami naprężeń głównych występującymi wewnątrz ziarna. O wartościach tych naprężeń można wnioskować na podstawie pomiarów szerokości szczelin.

Mikropęknięcia, których kierunek jest prostopadły do kierunku naprężeń ściskających (w kierunku minimalnych odkształceń), zgodnie z teorią Griffitha; [8] nie będą w pierwszym etapie procesu pęknięcia odgrywać roli. Sytuacja nie jest jednak tak jednoznaczna, gdyż jak wykazano wcześniej [7] w przekroju poprzecznym ziarna występuje złożony, dwuwymiarowy stan naprężeń.



Rys. 2. Przekrój poprzeczny ziarna pszenicy *Navigator*. Wilgotność 11,8%, szklistość 100%.: a - nie odkształcone, powiększenie 66x; b - nie odkształcone, 891x; c - zgniot 0,2 mm, 41x; d - zgniot 0,5 mm, 42x; e - zgniot 0,8 mm, 35x; f - zgniot 1,7 mm.

Fig. 2. Cross section of wheat grain *Navigator*. Moisture content 11,8%, vitreosity 100%.: a - non squeeze, increase by 66x; b - non squeeze, increase by 891x c - squeeze 0,2mm, 41x; d - squeeze 0,5mm, 42x; e - squeeze 0,8mm,35x; f - squeeze 1,7mm, 28x.

Stan ziarna w chwilę po zadaniu obciążenia w wyniku, którego zostało ono ściśnięte o 0,2 mm przedstawia Rys. 2c. W wyniku zadanego obciążenia została przekroczona wytrzymałość doraźna ziarna (Rys. 1). Od strony grzbietowej na styku z powierzchnią płyty nieznacznie odkształciły się komórki, a od warstwy aleuronowej oderwała się okrywa owocowo nasienna. Zjawisko odklejenia się warstwy aleuronowej zaobserwowano wewnątrz bruzdki. Zgodnie z oczekiwaniami ziarno pękło w najbardziej niebezpiecznym przekroju. Szczelina przebiega od bruzdki, nie przerywając jednak jej okrywy, aż w okolice zetknięcia się grzbietu z płytą, również nie dochodząc do niej. Z takiego układu szczelin można wnioskować, że maksymalne naprężenia rozciągające przebiegają w kierunku prostopadłym do kierunku działania siły obciążającej.

W drugim etapie zgniotu, przy odkształceniu wynoszącym 0,5 mm (Rys.2d) obserwuje się kolejne pęknięcia ziarna, których kierunek nie ulega zmianie. Bielmo uległo podziałowi na dwie części w płaszczyźnie pierwszego pęknięcia. Okrywa owocowo- nasienna w dalszym ciągu stanowi całość. Potwierdza się tym samym badania Girszona [5], który podaje, że wytrzymałość na „rozkruszanie” okrywy (badanie metodą skręcania) jest ponad 10-krotnie większa niż bielma.

Zdjęcie przedstawione na Rys. 3e. (trzeci etap obciążenia) wykonano po zgniciu wynoszącym 1,18 mm. Ziarno rozpadło się na wiele bloków z których skrajne przemieszczają się na boki (Rys.2f czwarta faza zgniotu). Jak można się domyślać obciążenie zgniatające równoważy głównie siły tarcia zewnętrznego (ziarno po płycie) jak i wewnętrznego (fragment ziarna po fragmencie ziarna).

WNIOSKI

1. Powierzchnia przekroju poprzecznego nieobciążonego ziarna pokryta jest siatką mikropeknięć o różnych rozmiarach. W przypadku Navigatora wynoszą one przeciętnie 30- 90 μm .
2. Po przyłożeniu obciążenia mikropeknięcia na powierzchni przekroju poprzecznego ulegają uporządkowaniu. W kierunku maksymalnych odkształceń szerokość szczelin ulega powiększeniu, a w kierunku do nich prostopadłym zanikają.
3. Pęknięcie leżącego na brzuszku ziarna po przekroczeniu wytrzymałości doraźnej odbywa się najczęściej w środku przekroju bez uszkodzenia okrywy owocowo-nasiennej.
4. Wartości naprężeń głównych są proporcjonalne do szerokości pęknięć na przekroju poprzecznym ziarna.

PIŚMIENNICTWO

1. **Blackeney A, Almgrem G, Jacob E.:** Analysis of first break milling of hard and soft wheats. *Meeling, feed and fert*, 22, 24-28, 1979.
2. **Dobrzański B.:** Mechanizmy powstawania uszkodzeń nasion roślin strączkowych. *Acta Agrophysica*, 13, 1998.
3. **Gąska R, Kolowca J.:** Wpływ stopnia uwilgotnienia ziarna na powstawanie mechanicznych uszkodzeń. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, z.282, 209- 217, 1978.
4. **Kolowca J.:** Badanie odporności ziarna pszenicy na powstawanie mechanicznych uszkodzeń. *Rocz. Nauk. Roln.*, T.71, C-3, 67-77.
5. **Kupric.:** Teoria i technologia przemiału zboża. WPLiS, Warszawa, 1957.
6. **Niewczas J.:** The method of determination of the index of mechanical damage of single kernel means of X- ray detection. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, z.389, 89-95, 1991.
7. **Romański L., Stopa R.:** Analiza stanu naprężeń elastooptycznego modelu ziarna pszenicy przy jednoosiowym ściskaniu. *Probl. Inż. Roln.*, 3, 21-8, 2001.
8. **Schapery R.:** A theory of crack initiation and growth in viscoelastic media - II. Approximate methods of analysis. *International. Journal of Fracture*, vol.11, 369-388, 1975.

INTERNAL STRUCTURE'S CHANGING ANALYSIS OF WHEAT GRAIN
DURING THE SQUEEZE PROCESS

L. Romański, R. Stopa

Institute of Agricultural Engineering, University of Agriculture
ul. Chelmońskiego 37/41, 51-630 Wrocław
romanski@imr.ar.wroc.pl, stopa@imr.ar.wroc.pl

Summary. Internal structure's changing analysis of wheat grain Navigator during the squeeze process has been presenting in this paper. Based on the experimental investigation of wheat grain under axial presents compressing diagram load – deformation has been received. Microscopic pictures of internal structure of wheat grain cross section related to particular phases of squeezing process have been obtained.

Key words: wheat grain kernel, squeeze, cracking process, microscopy picture.