

Naprężeniowa klasyfikacja oddziaływań mechanicznych na produkt spożywczy

Streszczenie:

W artykule dokonano analizy oddziaływań mechanicznych na produkty spożywcze w procesach technologicznych ich przetwarzania. Na podstawie tej analizy przedstawiono wytyczne do budowy systemu klasyfikacji operacji jednostkowych według kryterium wywoływanych naprężeń. Odpowiedni dobór stanów naprężeń w obrabianych produktach umożliwia kształtowanie zmian ich właściwości fizykomechanicznych.

Słowa kluczowe: oddziaływanie, produkty spożywcze, system, naprężenia

Wprowadzenie

Różnorodność surowców wykorzystywanych w przemyśle spożywczym powoduje konieczność stosowania w procesach technologicznych wielu operacji i procesów jednostkowych o różnych formach oddziaływania na produkty spożywcze i różnych sposobach doprowadzania energii.

Najczęstsze sposoby oddziaływania na produkt to:

- mechaniczny i hydromechaniczny
- cieplny
- elektryczny
- chemiczny
- biochemiczny
- magnetyczny
- promienisty

Oddziaływania te, prowadzone z dopasowaną do potrzeb intensywnością, zmieniają właściwości surowców, półproduktów i produktów [Uriev 1985].

W prezentowanym opracowaniu rozpatrzono, odgrywające ważną rolę w przetwarzaniu żywności, oddziaływania mechaniczne, realizowane przez urządzenia, do których doprowadza się energię z zewnątrz.

Znajomość zjawisk zachodzących w produktach spożywczych pod wpływem tych oddziaływań jest istotna przy projektowaniu maszyn i urządzeń do ich przetwarzania. Znaczący wpływ na te zjawiska mają parametry geometryczno-dynamiczne maszyn realizujących operacje przetwarzania oraz właściwości fizykomechaniczne produktów spożywczych.

Na podstawie analizy piśmiennictwa stwierdzono brak opracowania, które w sposób usystematyzowany, prezentowałyby te zagadnienia. Dostępne są jednostkowe prace dotyczące pojedynczych produktów, zwykle przy okazji prezentowania parametrów reologicznych produktów spożywczych.

Uznano, zatem za potrzebne, podjęcie próby analizy tej problematyki w celu rozeznania możliwości syntezy dotychczasowego dorobku w tym zakresie i poznania obszarów które wymagają uzupełnienia.

Skutki oddziaływań mechanicznych

Oddziaływania mechaniczne są zasadnicze, dla wywoływania zmian właściwości fizykomechanicznych przetwarzanych produktów, w wielu procesach technologicznych przemysłu spożywczego. Wykorzystuje się je w różnych fazach tych procesów, zarówno na etapie przygotowania do przetwarzania, podczas właściwej fazy przetwarzania, jak również podczas konfekcjonowania i pakowania.

Efektom oddziaływań mechanicznych, wyrażających się w bezpośrednim przekazywaniu energii mechanicznej przez elementy robocze maszyn i urządzeń realizujących operacje jednostkowe, może być zaistnienie jednej lub równocześnie więcej, spośród przedstawionych niżej sytuacji:

- a) przemieszczenie produktu,
- b) odkształcenie produktu – sprężyste, plastyczne, płynięcie, złożone,
- c) zniszczenie więzów lub struktury i podział na mniejsze części – rozdrabnianie,
- d) tworzenie nowych więzów i struktury oraz łączenie w większe części – aglomeracja,
- e) zmiana kształtu produktu,

W prezentowanym opracowaniu wnikliwiej analizowano te oddziaływania mechaniczne, których skutkiem są odkształcenia, zniszczenie więzów lub struktury i podział na mniejsze części. Spostrzeżenia z tej analizy wykorzystano jako przesłanki do zaproponowania sposobu klasyfikacji oddziaływań mechanicznych we wszystkich, wcześniej wskazanych, sytuacjach, za wyjątkiem przemieszczania.

Oddziaływania mechaniczne mogą być przypadkowe, wywołujące niekiedy niepożądane efekty, najczęściej jednak są celowe, związane z zaplanowanymi operacjami mechanicznymi i hydromechanicznymi, zwyczajowo klasyfikowanymi jako jedna grupa. Prawdopodobnie wynika to z faktu, że w obu przypadkach występuje oddziaływanie siłami mechanicznymi: w operacjach mechanicznych - bezpośrednio, zaś w operacjach hydromechanicznych - pośrednio. Przy analizie tych operacji należy zatem uwzględniać prawa dotyczące ciał stałych oraz prawa dotyczące cieczy.

Skutki oddziaływań mechanicznych można rozpatrywać dwuetapowo.

W etapie pierwszym, wewnątrz ciała stanowiącego obiekt obróbki indukowane są siły wewnętrzne, wywołujące, w każdym jego punkcie odpowiedni stan naprężeń. Wartość naprężenia, w danym punkcie zależy od wartości działającej siły zewnętrznej oraz orientacji analizowanego przekroju. Ponieważ przez punkt można przeprowadzić dowolną ilość przekrojów różnie zorientowanych, to ogół wektorów naprężeń odzwierciedla stan naprężenia w tym punkcie [Jakubowicz i Orłowski 1968].

Zgodnie z przyjętym w wytrzymałości materiałów nazewnictwem siły wewnętrzne mogą powodować: rozciąganie, ściskanie, ścinanie, zginanie lub skręcanie.

Zależnie od kierunku oddziaływania względem rozpatrywanego przekroju, powstające naprężenia określa się jako: normalne i styczne. Naprężenia normalne, są to siły jednostkowe o kierunku działania prostopadłym do rozpatrywanego przekroju. Są przeważające podczas ściskania, rozciągania i

zginania. Naprężenia styczne występują wówczas, gdy działająca siła leży w płaszczyźnie rozpatrywanego przekroju. Występują zwykle przy ścinaniu i skręcaniu.

Wytworzony przez siły wewnętrzne stan naprężeń zależy od, zaistniałej w danym punkcie lub wyodrębnionej części przestrzeni, relacji pomiędzy naprężeniami normalnymi oraz stycznymi i może być prosty lub złożony. Na rozkład naprężeń istotnie wpływa sposób obciążenia, np. obciążenie ciągłe, częściowe lub punktowe. Jednakże zgodnie z zasadą de Saint-Venanta, przy statycznie równoważnych, chociaż różnie przyłożonych obciążeniach, w pewnej odległości od obszaru działania siły, w całym przekroju powstają jednakowe stany naprężenia.

Drugi etap, to wywołanie przez zaistniały stan naprężeń odpowiadających mu odkształceń (tj. przemieszczenie się elementów ciała względem siebie) lub zmiana struktury. Odkształcenia mogą mieć charakter postaciowy lub objętościowy i powstać natychmiast po wywołaniu naprężeń albo dopiero po przekroczeniu ich wartości, charakterystycznej dla analizowanego materiału.

W wytrzymałości materiałów konstrukcyjnych siły wewnętrzne rozpatruje się przy założeniu ciągłości materialnej ciała, co prowadzi do przyjęcia ciągłego rozłożenia sił wewnętrznych na powierzchni. W praktyce jednoznaczne określenie rozkładu sił na powierzchni przekroju, a w konsekwencji, w całej bryle stanowi zadanie statycznie niewyznaczalne i jego rozwiązanie wymaga uwzględnienia odkształceń.

Przy analizie związków pomiędzy naprężeniem i odkształceniem produktów spożywczych, należy uwzględniać fakt, że ich struktura, w większości przypadków, znacznie odbiega od struktury materiałów stanowiących przedmiot zainteresowania tradycyjnej wytrzymałości materiałów. Do analizy stanów naprężenia i odkształcenia niektórych produktów spożywczych przydatne są zasady mechaniki odkształceń środków porowatych wypełnionych cieczą. Zależności ilościowe określa się przyjmując modele, których struktura zbudowana jest ze sztywnego porowatego szkieletu oraz cieczy wypełniającej ten szkielet. Wolne przestrzenie porów, które w kościach tkankach organizmów żywych oraz płodach rolnych stanowią 8–30% objętości całego ciała porowatego [Kubik 1995], w obliczeniach rozpatruje się jako wypełnione cieczą.

Aktualny stan wiedzy, pozwalający opisać dynamikę takich układów, umożliwia oddzielne określenie stałych materiałowych charakteryzujących właściwości mechaniczne pustego szkieletu i samego płynu [Cieszek i Dudziak 1995]. Pozwala zatem, na zastosowanie sprawdzonych teorii w nowym obszarze.

Przedstawiony dwuetapowy sposób rozpatrywania skutków oddziaływań mechanicznych wskazuje, że możliwe jest uzyskanie oczekiwanych zmian w strukturze i właściwościach obrabianego produktu przez wywołanie odpowiedniego stanu naprężenia. Należy w tym celu, znając właściwości produktu, dobrać parametry geometryczno-dynamiczne elementu roboczego obejmujące: geometrię elementu roboczego – kształt i wymiary, parametry kinematyczne ruchu – rodzaj, tor i prędkość, masę elementu roboczego, czas oddziaływania na produkt.

Klasyfikacja oddziaływań mechanicznych

W opisach operacji rozdrabniania, prezentowanych w dostępnym piśmiennictwie oddziaływania mechaniczne klasyfikuje się według ich wtórnych skutków, wyróżniając: zgniatanie, rozrywanie, ścinanie, łamanie, rozłupywanie, udar, ścieranie i rozcieranie.

Taki sposób klasyfikacji jest jednak niewystarczający do planowania optymalnych parametrów geometryczno-dynamicznych elementu roboczego. Nie umożliwia, bowiem, jednoznacznej identyfikacji wymaganych kierunków działania sił zewnętrznych, ich skutków pierwotnych w postaci stanu naprężenia, a zwłaszcza określenia wzajemnych relacji pomiędzy rodzajami naprężeń. Można jednak, w poszczególnych grupach tej klasyfikacji, zidentyfikować dominujące naprężenia, co stanowi punkt wyjścia do zbudowania nowego systemu klasyfikacji [Jasik i inni 1979].

Gdy obrabiany produkt ma postać ciała stałego identyfikacja ta jest następująca:

- **zgniatanie** – pod wpływem siły ściskającej ciało deformuje się w całej objętości, a jego rozpad następuje w płaszczyznach przypadkowych, w których naprężenia wewnętrzne przekroczą granicę wytrzymałości na ściskanie,
- **rozrywanie** - siły rozciągające po przekroczeniu wartości wytrzymałości produktu na rozrywanie powodują jego podział,
- **ściananie** - podział ciała następuje wzdłuż powierzchni równoległej do linii działania dwóch przeciwnie skierowanych i przesuniętych względem siebie o niewielką odległość sił; występują w tym przypadku naprężenia ścinające,
- **łamanie** - naprężenia wywołane są momentami zginającymi lub odpowiednio przyłożonymi siłami poprzecznymi; w obrabianym produkcie wywoływane są równocześnie naprężenia ściskające i rozciągające - wklęśła strona produktu jest ściskana, a wypukła rozciągana.
- **rozłupywanie** - rozłupywanie następuje w wyniku działania klinowego elementu roboczego w taki sposób, że lokalnie wywoływane jest spiętrzenie naprężeń ściskających; rozpad ciała następuje w płaszczyznach największych naprężeń,
- **udar** - udar może być skutkiem swobodnego lub ograniczonego ruchu ciała; w obu przypadkach działają w sposób gwałtowny siły wywołujące naprężenia ściskające,
- **ścieranie i rozcieranie** - ścieranie zachodzi pod wpływem sił tarcia na styku powierzchni produktu obrabianego i powierzchni roboczych elementu roboczego przy niewielkiej sile ściskającej w stosunku do siły ścinającej; rozcieranie natomiast zachodzi pod wpływem niewielkiej siły ścinającej w stosunku do siły ściskającej.

Kiedy produkt obrabiany jest w stanie ciekłym naprężenia powodujące zniszczenia struktury można również określić wykorzystując elementy przedstawionego wyżej zbioru.

Aby rozdrobnić cząstki cieczy wykorzystuje się jedną z dwóch metod:

- intensywne mieszanie,
- przeciskanie wstępnie utworzonej mieszaniny przez szczeliny.

W operacji rozdrabniania np. dwóch wzajemnie nie mieszających się cieczy przy tworzeniu emulsji, konieczne jest dostarczenie energii na pokonanie sił napięcia międzyfazowego oraz na utrzymanie fazy rozproszonej w stanie zawieszenia. Realizowane jest to przez ścinanie w strefie kontaktu z mieszadłem, które dzieli ciecz na coraz mniejsze porcje.

Podczas przeciskania zawiesiny przez wąską szczelinę (homogenizacja) uzyskuje się emulsję pokonując siły napięcia powierzchniowego oraz siły tarcia związane z lepkością cieczy. Również w tym przypadku siłą sprawczą jest ścinanie.

W cieczach wywoływane są naprężenia normalne, które określa się jako ciśnienie oraz naprężenia styczne występujące tylko podczas ruchu względnego cieczy. Naprężenia styczne stanowią w istocie siły tarcia wewnętrznego, zaś w czasie ruchu cząsteczek występują siły lepkości. Przyłożone do elementu lepkiego płynu, znajdującego się między płaszczyznami, siły powodują wzajemne przesuwanie się jego warstw. Zależnie od charakteru płynu: newtonowskiego lub nienewtonowskiego, modele matematyczne opisujące zależności między naprężeniami stycznymi, a szybkością odkształcania mają różną postać. Zagadnienia te stanowią temat innych prac autora dotyczących modeli reologicznych [Ratajczak i Ossowski 2000 i 2004].

Przeprowadzone powyżej rozważania pozwalają określić w sposób jednoznaczny relacje przyczynowo-skutkowe pomiędzy naprężeniami, a odkształceniami, z których wynika, że bezpośrednim źródłem zmian w produkcie pod wpływem oddziaływań mechanicznych są wywoływane przez nie stany naprężeń. Z kolei stany naprężeń, po przekroczeniu charakterystycznych dla poszczególnych produktów wartości granicznych, kształtują odpowiadające im stany odkształceń, a przy dalszym zwiększaniu wartości naprężeń prowadzi to do zniszczenia wiązań i zmian strukturalnych lub podziału produktu.

Relacje pomiędzy działającą siłą, stanem naprężeń i końcowymi skutkami w poszczególnych operacjach jednostkowych, zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1 Zestawienie rodzaju naprężeń podczas wybranych operacji mechanicznych w przemyśle spożywczym

Table 1. Tabulation of types of stresses during the selected mechanical operations in food industry

L.p	Kierunek działania siły	Wywoływane rodzaje naprężenia	Skutki przekroczenia wartości granicznej	Operacja jednostkowa
1.	normalny	ściskające	zgniatanie	rozdrabnianie
2.	normalny	rozciągające	rozrywanie	rozdrabnianie
3.	styczny	ścinające	ścinięcie	rozdrabnianie
4.	normalny	ściskające i rozciągające	łamanie	rozdrabnianie
5.	normalny	ściskające	rozłupywanie	rozdrabnianie
6.	normalny	ściskające	udar	rozdrabnianie
7.	normalny styczny	ściskające i ścinające	ścieranie i rozcieranie	rozdrabnianie
8.	styczny normalny	ścinające i ściskające	ścinięcie ściskanie	mieszanie cieczy
9.	styczny	ścinające	ścinięcie	homogenizacja
10.	styczny	ścinające	ścinięcie	transport cieczy
11.	normalny styczny	ściskające i ścinające	ściskanie i ścinięcie	wyciskanie cieczy
12.	normalny	ściskające	ściskanie	filtracja
13.	styczny	ścinające	ścinięcie	separacja cieczy w wirówce
14.	styczny	ścinające	ścinięcie	mieszenie ciasta
15.	normalny	ściskające	ścinięcie	dzielenie ciasta
16.	normalny styczny	ściskające ścinanie	ściskanie ścinięcie	dozowanie cieczy

Związki pomiędzy poszczególnymi wielkościami przedstawione w tabeli stanowią podstawę do zbudowania systemu klasyfikacji oddziaływań mechanicznych według kryterium wywoływanych naprężeń. System ten umożliwia klasyfikację wszystkich oddziaływań mechanicznych, których celem jest odkształcenie produktu lub jego zmiany strukturalne. Pozwala ponadto identyfikować w jakich operacjach wykorzystywany jest prosty, a w jakich złożony stan naprężeń oraz prognozować skutki oddziaływań mechanicznych na produkty spożywcze. Należy jednak zaznaczyć, że w prezentowanym opracowaniu rozpatruje się oddziaływania pożądane z pominięciem przypadkowych, których analizę przewiduje się zaprezentować w odrębnym opracowaniu.

Podsumowanie

Potrzebne i możliwe jest stworzenie systemu klasyfikacji oddziaływań mechanicznych w operacjach jednostkowych procesów technologicznych

przemysłu spożywczego, według kryterium naprężeń wywoływanych w obrabianym produkcie.

Znajomość relacji pomiędzy sposobem obciążenia, a wywołanym stanem naprężeń pozwala sformułować wytyczne do zaplanowania parametrów geometrycznych i dynamicznych elementów roboczych tak, aby uzyskać wymagany stan naprężeń.

Wywołując odpowiednie stany naprężeń w obrabianych produktach można w sposób planowy kształtować zmiany ich właściwości w celu osiągnięcia pożądanych cech konsumpcyjnych lub technologicznych. Wymagana jest do tego znajomość wartości parametrów reologicznych produktów odpowiadających tym pożądanym cechom określonych np. podczas badań organoleptycznych lub instrumentalnych międzyoperacyjnych.

Istnieje potrzeba badań eksperymentalnych parametrów wytrzymałościowych i reologicznych produktów spożywczych aby możliwe było określenie naprężeń granicznych, przekroczenie których zmienia właściwości produktu.

Naprężenia w obrabianych produktach istotnie zależą od ich struktury i właściwości fizykomechanicznych.

Bibliografia

Uriev N.B., Talejsnik M.A., 1985, Piscevyje dispersnyje sistemy, Moskwa

Jakubowicz A., Orłóś Z., 1968, Wytrzymałość materiałów, WNT, Warszawa

Kubik J., 1995, Podstawowe problemy mechaniki materiałów poro-przepuszczalnych, [W]: Ośrodki porowate w technice, medycynie i ochronie środowiska, Wyższa Szkoła Pedagogiczna, Zielona Góra

Cieszko M., Dudziak W., 1995, Dynamika nasyconych płynem ośrodków porowatych o zredukowanych własnościach sprężystych, [W]: Ośrodki porowate w technice, medycynie i ochronie środowiska, Wyższa Szkoła Pedagogiczna, Zielona Góra

Jasik K., Chwiej M., 1979, Świerczyński A., Inżynieria przemysłu spożywczego, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań

Ratajczak W., Ossowski G., 2004, Reologia produktów spożywczych i jej związek z projektowaniem maszyn, Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej, Poznań

Ratajczak W., Ossowski G., 2000, Właściwości reologiczne miazgi z warzyw korzeniowych, Zeszyty Naukowe Politechniki Opolskiej, Opole

Wilczyński A.P., 1984, Mechanika polimerów w praktyce konstrukcyjnej, Wydawnictwa Naukowo Techniczne, Warszawa

Classification of mechanical stresses in food products

Summary

The mechanical influence between the machine elements and food products in technological processes their processing have been analysed in this article. On basis of this analysis were elaborated The guideline to construction of system of operations classification according to criterion of stresses on basis of this analysis were elaborated The suitable selection of states of stresses in worked products makes possible the formation the changes their physical proprieties.

Key words : influence, food products, system, stresses