

А.В. Погребняк, канд. техн. наук (ДонНУЕТ, Донецьк)

І.В. Перкун, канд. техн. наук (ДонНУЕТ, Донецьк)

ФІЗИЧНИЙ МЕХАНІЗМ ГІДРОСТРУМІННОГО РОЗРІЗАННЯ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ ГЛИБОКОГО ЗАМОРОЖЕННЯ ТА ЯКІСТЬ РОЗРІЗУ

Обґрунтовано фізичний механізм взаємодії гідроструменя із замороженим харчовим продуктом і запропоновано трирівневу шкалу оцінки якості поверхні: «рваний», «рівний якісний» і «високоякісний» розрізи, кількісні критерії якої пов'язані із шорсткістю й хвилястістю поверхні розрізів у харчовому продукті глибокого замороження.

Обоснован физический механизм взаимодействия гидроструи с замороженным пищевым продуктом и предложена трехуровневая шкала оценки качества поверхности: «рваный», «ровный качественный» и «высококачественный» резы, количественные критерии которой связаны с шероховатостью и волнистостью поверхности разрезов в пищевом продукте глубокой заморозки.

The physical mechanism of interaction of a hydrojet with frozen foodstuff is proved and a three-level scale of quality estimation for a cut surface in foodstuff is offered: "fragmentary", "even qualitative" and "high-quality" cuts where quantitative criteria are connected with roughness and undulation of cut surface in frozen foodstuff.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Обґрунтувати і систематизувати фізичні закономірності механізму мікроруйнування заморожених харчових продуктів у процесі гідрорізання та взаємозв'язку окремих явищ, які відбуваються при цьому, що важливо для визначення, максимальної продуктивності, точності та якості поверхні розрізу у разі різних технологічних параметрів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Гідрорізання заморожених харчових продуктів є складним процесом зі своїми специфічними особливостями. На сьогоднішній день цей процес поки ще повністю не вивчений і не систематизований, в основному через його складність. Фізичний механізм розрізання заморожених харчових продуктів гідроабразивним струменем рідини повинен давати уявлення про фізичні закономірності процесу гідрорізання, за якого відбувається розрізання харчового продукту глибокого замороження [1].

Процес гідрорізання відрізняється від традиційних механічних методів розрізання продуктів харчування тим, що в якості ріжучого інструменту використовується тонкий високошвидкісний струмінь рідини. Рух струменя в повітрі за тиску витікання понад 50МПа відбувається з близькою до звукової швидкістю. Вплив струменя (як зовнішнього навантаження) з такою швидкістю на заморожений харчовий продукт під час гідрорізання необхідно розглядати як ударну дію. Слід враховувати також і те, що в момент удара струменя по харчовому продукту при температурі -25°C і нижче, аж до температури кипіння рідкого азоту $-195,8^{\circ}\text{C}$, раптова зміна його швидкості викликає значне зростання тиску струменя, що призводить до різкої зміни швидкості в будь-якій точці деформованого рідинного потоку [2]. У разі впливу таких тисків у харчовому продукті, що розрізається, напруга швидко зростає до критичної, а опір розриву виникає нижче межі його текучості. Останнє призводить до руйнування харчового продукту.

Мета та завдання статті. Метою даного дослідження є виявлення фізичного механізму взаємодії гідроструменя з замороженими харчовими продуктами (на прикладі м'яса) та розроблення шкали оцінки якості поверхні розрізів у них.

Виклад основного матеріалу дослідження. Розглядаючи фізичний механізм руйнування замороженого харчового продукту в зоні різання гідроструменем можна припустити, що відрив найдрібніших частинок від основної маси продукту, який викликаний переважно виникненням і розвитком мікротріщин у місцях ослаблених мікродефектами. Ці дефекти можуть виникати в результаті порушення будови харчового продукту, наявності мікротріщин, мікропорожнеч і т.ін. Тому під час гідрорізання на процес руйнування замороженого харчового продукту істотно впливають механічна дія високошвидкісного потоку рідини і гідравлічні удари, що сприяють проникненню робочої рідини в тріщини з виникненням, так званих, гідроклинів. За рахунок виникнення та розвитку мікротріщин механізм руйнування замороженого харчового продукту в процесі гідрорізання може бути різним.

На рис. 1 показано схему взаємодії абразивно-рідинного струменя (найбільш складного за складом) із харчовим продуктом, що розрізається. Під час гідрорізання можливі три види впливу струменя на харчовий продукт, що розрізається: руйнування ударним, ковзним і косим струменем. Так як під час гідрорізання діаметр струменя незначний у порівнянні з товщиною харчового продукту, що розрізається, одночасно реалізуються всі три види руйнівного впливу

струменя на заморожений харчовий продукт під час взаємодії його елементів із продуктом у зонах різання.

Абразивно-рідинний струмінь, що рухається з великою швидкістю, являє собою в периферійній частині каскад крапель і окремих абразивних частинок, захоплених струменем (наприклад, кристаликів солі або харчової соди) або тих, що генеруються в самому струмені (наприклад, кристаликів льоду під дією пари рідкого азоту), а також тієї, що оточує ділянку струменя, яка ще не розпалася. Так як під час гідрорізання чистим струменем води, а тим більше із застосуванням абразиву, ширина різу завжди більше діаметра струменя, можна зробити висновок, що в розрізанні замороженого харчового продукту беруть участь як та частина струменя, що не розпалася, так і окремі краплі, розташовані навколо неї. Частинки води, що впливають на тверду пласку поверхню, перетворюються в мікропотоки, розтікаються по ній у різні боки від точки удару. У таких випадках під час розтікання струменя рідини з великою швидкістю по поверхні замороженого харчового продукту в ньому виникають значні напруження зсуву.

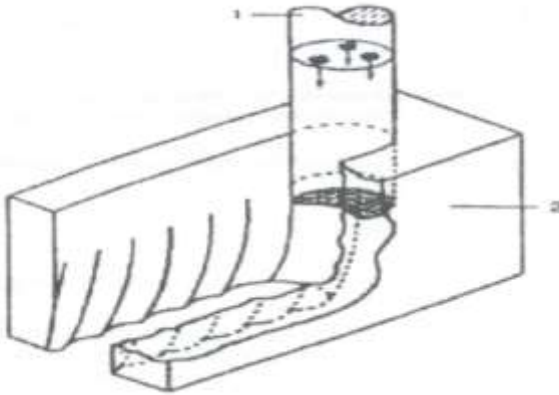


Рисунок 1 - Схема процесу гідрорізання харчового продукту:

1 – водяний струмінь з абразивом;

2 – зразок замороженого харчового продукту

Проведений аналіз у працях [3; 4], отриманих нами експериментальних даних показав, що вибір робочої рідини зумовлений здатністю отримувати необхідні гідродинамічні характеристики високошвидкісного тонкого струменя, що забезпечують максимальну продуктивність і найкращу якість поверхні

розрізу з найменшими енерговитратами на його формування. Мінімізація енергетичних затрат забезпечується за рахунок зниження робочого тиску рідини перед соплом до якомога більш низьких його значень під час збереження технологічних вимог до харчового продукту глибокого замороження, що розрізається. У цей час, властивості робочої рідини зумовлюють той чи інший механізм розрізання замороженого харчового продукту.

Під час розрізання м'яса свинини, що має граничну міцність на одноосьове стискання $2,45 \div 6,45$ МПа з використанням сопел діаметра $0,35 \cdot 10^{-3} \div 0,6 \cdot 10^{-3}$ м і тисків води $50 \div 150$ МПа, однакова глибина різання може бути досягнута з використанням водоструминної та гідроабразивної (водносольової, водносодової або водноазотної) технологій різання. Тиск води під час гідроабразивного різання м'яса, яке має температуру в діапазоні від -1 до -25°C , становить $30 \div 45\%$ від тиску води під час різання м'яса водяним струменем, а під час однакового вихідного тиску спостерігається збільшення глибини і швидкості різання в кілька разів [5], що свідчить про значну присутність механізмів гідродинамічного руйнування м'яса в процесі гідроабразивного різання.

Аналіз відходів, які отримуємо під час гідрорізки, свідчить про присутність дії кавітації на м'язові волокна м'яса глибокого заморожування. Кавітація проявляється у формі «мікровибухів», які призводять до тонкого подрібнення м'яса. Підсумовуючи вищесказане, можна відзначити наступні моменти:

1. Розрив ниток тканин замороженого м'яса відбувається, в основному, під дією динамічного тиску водяного або гідроабразивного струменя.

2. «Гідравлічний клин» не здійснює безпосередньо різання волокон м'яса, але сприяє дії динамічного тиску водяного або гідроабразивного струменя для розриву волокон замороженого м'яса.

3. При гідрорізання присутня дія кавітації на м'язові волокна м'яса, що приводить до тонкого подрібнення м'яса. Усі ці чинники за одночасної дії визначають особливості фізичного механізму гідрорізання замороженого м'яса, а також якість поверхні розрізів.

Таким чином, за водоструминної та гідроабразивної технологій розрізання м'яса глибокого замороження головними виступають наступні чинники:

- руйнування дією динамічного тиску водяного та гідроабразивного струменів;
- «гідравлічний клин»;
- руйнування замороженого м'яса ударянням окремих частинок абразиву (частинок із кристаликів льоду, кухонної солі або харчової

соди), розігнаних водяним струменем до звукових і надзвукових швидкостей;

- руйнування кавітацією, яка знижує міцність замороженого м'яса через пульсуюче навантаження, яке при цьому виникає.

До теперішнього часу в харчовій промисловості для м'яса (а також інших харчових продуктів) не має об'єктивних способів оцінки якості поверхні розрізів. У наших експериментах оцінка якості поверхні розрізів замороженого м'яса, які отримуємо під час гідрорізання, проводилася візуально і за допомогою аналізу профілограм, тобто з використанням щупового методу виміру параметрів шорсткості та хвилястості [5]. Нами було запропоновано наступну тривірневу шкалу оцінки якості поверхні розрізу в м'ясі: «рваний», «рівний якісний» і «високоякісний» розрізи. Кількісні критерії цієї шкали, які пов'язані з шорсткістю та хвилястістю поверхні гідророзрізів у замороженому м'ясі, наведено в таблиці.

Таблиця – Критерії оцінки якості поверхні розрізу в замороженому м'ясі

Оцінка якості розрізу	Шорсткість або хвилястість розрізу $H_{\text{сеп}}, 10^{-3}\text{м}$	Примітка
Рваний	$H_{\text{сеп}} \geq 0,5$	Не допустимий для обробки сировини
Рівний якісний	$0,5 < H_{\text{сеп}} \leq 0,01$	Допустимий для обробки сировини
Високоякісний	$H_{\text{сеп}} < 0,01$	Допустимий для обробки сировини

З точки зору технологічних вимог «рваний» розріз не допустимий для обробки м'ясної сировини, тоді як «рівний якісний» і «високоякісний» розрізи допустимі для подальшої обробки м'яса глибокого замороження. На рис. 2 наведено фотографії поверхні розрізів замороженого м'яса, які відносяться до «рваного» і «рівного якісного» розрізів, а на рис. 3 – до «високоякісного».

Експериментально було встановлено, що якщо швидкість розрізу є більшою ніж раціональне її значення ($V_{\text{п}} > V_{\text{п,рац}}$), то в процесі гідрорізання замороженого м'яса профіль розрізу набуває слабо виражену V-подібну форму, а за дуже низької швидкості різання ($V_{\text{п}} \ll V_{\text{п,рац}}$) має профіль А-подібної форми. Гідрорізання

замороженого м'яса з раціональною швидкістю або близькою до раціональної приводить до формування розрізу П-подібної форми.



Рваний розріз
 $\Delta P=100\text{МПа}$; $V_n=10^{-1}\text{ м/с}$; $t=-7^\circ\text{C}$



Рівний якісний розріз
 $\Delta P=100\text{МПа}$; $V_n=25\cdot 10^{-3}\text{ м/с}$; $t=-25^\circ\text{C}$

Рисунок 2 – Фотографії поверхні розрівів водняним струменем замороженого м'яса



Високоякісний розріз

Рисунок 3 – Фотографія поверхні розрізу замороженого м'яса водноазотним способом

Експеримент також показав, що якість поверхні розрізів (відповідно до критеріїв оцінки, які наведено в таблиці) в замороженому м'ясі поліпшується зі збільшенням швидкості розрізу до раціонального значення $V_{п.рац}$, а також зі збільшенням швидкості гідроструминного розрізання і погіршується зі збільшенням діаметра сопла.

Висновки.

1. Отримані експериментальні дані дозволили обґрунтувати і систематизувати фізичні закономірності механізму мікроруйнування замороженого м'яса в процесі гідрорізання та взаємозв'язку окремих явищ з визначенням якості поверхні розрізу.

2. Запропоновано трирівневу шкалу оцінки якості поверхні гідророзрізу в харчовому продукті: «рваний», «рівний якісний» і «високоякісний» розрізи, кількісні критерії якої пов'язані із шорсткістю та хвилястістю поверхні гідророзрізів у замороженому харчовому продукті.

Список літератури

1. Заплетников И. Н. Оборудование водорезания пищевых продуктов : монография / И. Н. Заплетников, А. В. Гордиенко, А. В. Погребняк. – Донецк : ДонНУЭТ, 2012. – 207 с.

2. Погребняк А. В. Механизм повышенной разрушающей способности высокоскоростной струи раствора полимера / А. В. Погребняк // Реология и физико-химическая механика гетерофазных систем. – М. : МГУ им. М.В. Ломоносова : Ин-т нефтехим. синтеза им. А.В. Топчиева РАН, 2009. – С. 167–168.

3. Погребняк А. В. Структура і динаміка струменя гідромясорізки / А. В. Погребняк, І. М. Заплетников // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь : ТаврДАТУ, 2010. – Вип. 10, Т. 3. – С. 3–13.

4. Погребняк А. В. Высокоэффективное гидрорезание твердых пищевых продуктов и материалов / А. В. Погребняк // Управление реологическими свойствами пищевых продуктов. – М. : Моск. гос. ун-т пищ. производств, 2008. – С. 173–179.

5. Погребняк А. В. Интенсификация процесса гидрорезания мяса глубокой заморозки : дис. ... канд. техн. наук : (05.18.12) / Погребняк А. В. – Донецк, 2011. – 201 с.

Отримано 01.02.2013. ХДУХТ, Харків.

© А.В. Погребняк, І.В. Перкун, 2013.