ГЛАВА 4

СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БРОДЯЩЕГО ТЕСТА

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БРОДЯЩЕГО ТЕСТА

Небродящее мучное тесто следует считать материалом, при­званным оценивать технологические свойства зерна и муки. Бро­дящее тесто для указанной цели менее пригодно, так как содер­жит дрожжи, закваски, газообразные вещества, преимуществен­но углекислоту, органические кислоты, образующиеся при бро­жении. Оно является структурным аналогом и предшественни­ком структуры хлебного мякиша, незафиксированной термиче­ской обработкой. Количество образующейся в единице объема теста углекислоты зависит от содержания и распределения в нем дрожжевых клеток, энергии их брожения, определяемой массой дрожжей, условиями их жизнедеятельности. Величина пузырьков углекислоты и их количество в объеме определяются газопроницаемостью теста (по С02), зависящей от его структур­но-механических свойств.

Газообразные вещества, как известно, существенно отличают­ся от твердых тел и жидкостей меньшей плотностью, большей сжимаемостью, а также зависимостью коэффициента их объем­ного расширения от температуры. Их наличие в структуре теста увеличивает объем, понижает его плотность, усложняет структу­ру. Упруго-пластичные деформации бродящего теста протекают в стенках пор его структурированной массы. Для того чтобы рас­смотреть влияние газообразной фазы на механические свойства бродящего теста, рассмотрим схему его структуры, приведенной на рис. 21. В ней палочками с круглым концом схематически по­казаны ПАВ, белки, липоиды и др. Их закругленная часть пред­ставляет полярную, а прямой «хвост» — неполярную группу ато­мов в молекуле.

Наиболее вероятными центрами образования первичных пу­зырьков С02 в бродящем тесте являются точки сцепления непо­лярных групп молекул ПАВ, связанных наиболее слабыми си­лами дисперсионных взаимодействий. Образующиеся в тесте при его брожении газообразные продукты (СО2 и др.) растворяются в свободной воде, адсорбируются на поверхностях молекул гид­рофильных полимеров. Их избыток образует пузырьки газа в бродящем тесте. Стенки пузырьков образуют поверхностно- активные вещества. Увеличение количества газообразных про­дуктов вызывает соответствующее увеличение числа и объема газовых пузырьков, уменьшение толщины их стенок, а также прорыв стенок, диффузию и утечку газа с поверхности теста.

Этот сложный процесс образования структуры бродящего те­ста, естественно, сопровождается увеличением объема его массы и деформациями сдвига. Накопление множества пузырьков га­зообразных продуктов приводит к образованию пенообразной структуры бродящего теста, имеющей двойные стенки, образо­ванные поверхностно-активными веществами. Они заполнены массой гидратированных гидрофильных веществ теста, связан­ных с полярными группами ПАВ стенок пузырьков вторичными химическими связями. Тесто обладает значительной вязкостью и упруго-эластичными свойствами, обеспечивающими его пенооб­разной структуре достаточную прочность и долговечность, опре­деленную способность течения и удерживания газообразных ве­ществ (воздуха, пара, углекислоты).

Упруго-пластичные деформации сдвига такой структуры в результате перманентного увеличения объема газовых пузырьков и теста приводят к уменьшению толщины стенок, их разрыву и слиянию (коалесценции) отдельных пузьцрьков с уменьшением общего объема.

Развитие упруго-пластичных деформаций сдвига в массе на­чинающего быстро бродить теста, понижающего свою плотность, происходит при соответствующих пониженных напряжениях, по­этому начальные модули упругости-эластичности сдвига и вяз­кость такого теста должна быть не выше, чем у небродящего те­ста. Однако в процессе его брожения и увеличения объема де­формации сферических стенок его газовых пор должны сопро­вождаться ориентацией белков и других полимеров в направлении сдвига и течения, образованием дополнительных межмолекулярных связей между ними и увеличением вязкости теста. Понижение плотности бродящего теста при брожении по­зволяет белкам полнее реализовать эластичные свойства — пони­зить модуль упругости-эластичности сдвига. При увеличенной вязкости, сниженном модуле бродящее тесто должно иметь значительно большее отношение этих характеристик, иметь бо­лее твердообразную систему, чем небродящее.

Благодаря перманентному образованию углекислоты и уве­личению таким путем объема бродящее тесто в отличие от не- бродящего является двояко напряженной системой. Силы грави­тации его массы при брожении уступают, равны или больше энергии химических реакций образования С02, создающей силы, развивающие и движущие газовые пузырьки вверх по закону Стокса (движения сферических тел в вязкой среде). Количество и размеры пузырьков газа в тесте определяются энергией и ско­ростью брожения дрожжей, структурно-механическими свой­ствами теста, его газопроницаемостью.

Величина образующегося при брожении пузырька углекисло­го газа в каждый данный момент будет зависеть от равновесия его растягивающих сил

***Р=πrp***(4.1)

и сжимающих

*P=2πrσ* (4.2)

где π, *r*, р, σ — соответственно отношение окружности к диаметру (3, 14), ра­диус пузырька, избыточное давление и поверхностное натяже­ние.

Из условий равенства уравнений (4.1) и (4.2) следует, что

*P=2σ/r* (4.3)

Уравнение (4.3) показывает, что в начальный момент образо­вания газового пузырька, когда его размеры, определяемые ра­диусом, весьма малы, величина избыточного давления должна быть значительна. С увеличением радиуса пузырьков оно сни­жается. Соседство пузырьков газа различного радиуса должно сопровождаться диффузией СО2 через стенки в направлении от большего к меньшему давлению и выравниванием его. При нали­чии определенного избыточного давления и среднего размера газовых пузырьков нетрудно подсчитать, зная вязкость теста, скорость их подъема по упомянутому закону Стокса.

Согласно этому закону сила, поднимающая пузырьки газа,

*P=4/3πrg(ρ-ρ)* (4.4)

преодолевает силу их трения

*P=6πrηυ* (4.5)

где g—константа гравитации;

ρ и ρ — плотности газа и теста;

η—эффективная структурная вязкость теста;

υ— скорость вертикального движения пузырьков газа в тесте

возникающую в массе теста при движении в нем сферического тела (пузырька газа).

Из равенства уравнения (4.4) и (4.5) легко определяется ве­личина скорости

*V=2gr(ρ-ρ)/9η*  (4 .6)

Данное уравнение имеет большое практическое значение, по­зволяя установить зависимость скорости увеличения объема бро­дящего теста от его плотности и вязкости, размера отдельных пор, определяемого также энергией брожения микроорганизмов. Подсчитанная по уравнению скорость увеличения объема пше­ничного теста из муки I сорта плотностью 1,2 со средним радиу­сом пор 1 мм и вязкостью порядка 1104 Пас составляет около 10 мм/мин. Практические наблюдения показывают, что такое те­сто имеет среднюю скорость подъема от 2 до 7 мм/мин. Наиболь­шая скорость наблюдается в первые часы брожения.

При наличии в тесте соседних пор, имеющих различные раз­меры и давление газа, происходят разрыв их стенок и слияние пор (коалесценция); это явление также зависит от скорости бро­жения и механических свойств теста; по-видимому, большинство пор теста и хлебного мякиша являются незамкнутыми, открыты­ми. Вследствие явлений диффузии С02 через стенки пор и их разрыва избыточным давлением бродящее тесто теряет углекис­лоту своей поверхностью: принимая затрату сухих веществ (са­хара) на брожение теста, равным в среднем 3% массы муки, при спиртовом брожении на 1 кг муки (или 1,5 кг хлеба) выделяет­ся около 15 г, или примерно 7,5 л С02. Это количество при атмосферном давлении в несколько раз превышает объем газо­образных продуктов в указанном объеме хлеба и характеризует их потери при брожении теста.

В бродящем тесте образуются также многие другие органи­ческие кислоты и спирты, способные изменять растворимость соединений зерна. Таким образом, все изложенное выше пока­зывает, что структура бродящего теста является более сложной, чем у небродящего. Оно должно отличаться от последнего мень­шими: плотностью, модулем упругости-эластичности, большей вязкостью и η/Е (большей способностью сохранения формы), перманентным увеличением объема и кислотности при брожении.

Пекари практически издавна характеризовали хлебопекарные свойства бродящего теста по его способности к проявлению упру­го-эластичных деформаций после снятия напряжений: «живое» (или упруго-эластичное) «движущееся» после деформации тесто всегда давало хлебные изделия хорошего объема, формы и структуры пористости мякиша в отличие от неподвижного (пла­стичного) теста, лишенного этих свойств.

Структура бродящего теста, его механические свойства нахо­дятся во взаимной зависимости от сахарообразующей способно­сти муки, а также газообразующей и газоудерживающей (газо­проницаемости) способностей теста. Они зависят также от вида, возраста и бродильной способности микроорганизмов — генера­торов брожения.

Это подтверждается данными величин газообразования и удерживания теста из муки сортовых пшениц, приведенными в табл. 3.10. При равной в среднем газообразующей способности муки пшениц первой и второй групп меньшая абсолютная и от­носительная газоудерживающая способность теста (и объемный выход хлеба) первой объясняется его более высокими упруго- пластичными свойствами. Вместе с тем меньшая газоудержи­вающая способность теста (и объемный выход хлеба) из пшениц третьей группы в сравнении с этими характеристиками теста (и хлеба) из пшениц второй, а также первой групп отчасти мо­гут быть отнесены за счет их меньшей газообразующей способ­ности.

Их относительная (в % к газообразованию) газоудерживаю­щая способность оказалась выше, чем у теста пшениц второй и первой групп, что может быть отнесено за счет наиболее высо­кого содержания клейковинных белков в пшеницах этой группы. Таким образом, при рассмотрении газоудерживающей способ­ности теста и объемного выхода хлеба приходится учитывать не только механические характеристики теста, но и названные свой­ства муки. Представлялось целесообразным исследовать и срав­нить структуру небродящего и бродящего теста. Последнее яв­ляется фактическим материалом, из которого делают хлебные изделия из муки разных сортов, отличающиеся физическими по­казателями качества. Представляло интерес сравнить механиче­ские свойства небродящего и бродящего теста из муки разного сорта, а также провести примерное нормирование их у послед­него.

Структурно-механические свойства небродящего и бродящего теста, приготовленного из двух образцов товарной пшеничной муки I и II сортов, приведены в табл. 3.1 и 4.1.

Таблица 4.1

Структурно-механические характеристики теста из пшеничной муки 1 сорта влажностью 44%

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер образца | Продолжи­тельность выдержки, ч | Е10,  Па | η10  Пас | η/Е, с | П, % | **Э, %** | **К, %** | **К, %** |
| 1  2 | 0  2  0  2 | 8,5/6,0  3,5/2,9  12,0/7,6  6,4/3,8 | 5,9/5,4  1,9/6,2  6,4/5,4  3,2/8,4 | 69/89  53/220  50/71  50/221 | 72/67  78/45  77/73  78/45 | 74/64  82/65  78/67  76/70 | 59/52  47/50 | 68/—15  50/—55 |

Примечание. В числителе приведены данные по небродящему те­сту, в знаменателе — по бродящему.

Тесто из пшеничной муки I сорта является менее сложной ла­бильной структурой, чем тесто из муки II сорта: в нем менее активны процессы гидролиза, меньше содержится сахаров и дру­гих соединений, изменяющих во времени упруго-эластичные свой­ства структуры. По этой причине отличия структуры небродяще- го теста из муки I сорта должны быть наиболее отчетливы.

Как показывают результаты табл. 4.1, непосредственно после замешивания небродящее тесто обоих образцов имело модули сдвига и вязкость, относительные пластичность и эластичность большие, а η/Е меньшее, чем у бродящего теста. После 2-часо­вого брожения вязкость теста и ***η/Е*** не уменьшились, как у небродящего теста, а наоборот, увеличились, а пластичность уменьшилась. По указанной причине показатель ***К*** имел отрицательную величину, характеризуя не разжижение, а уве­личение вязкости структуры.

Результаты сравнения механических свойств небродящего и бродящего пшеничного теста из двух образцов муки II сорта, приведенные в табл. 3.1, в основном полностью подтверждают закономерности, установленные для теста из муки I сорта; они, однако, представляют несомненный интерес потому, что процесс его выдержки продолжался до 24 ч. Известно, что брожение прессованных хлебопекарных дрожжей при их обычной дозиров­ке (около 1 % к муке) заканчивается обычно на отрезке времени 3—4 ч (продолжительность брожения опары). По истечении это­го времени тесто пополняют свежей порцией муки и перемеши­вают, после чего брожение в нем возобновляется. При отсут­ствии добавок муки и перемешивания спиртовое брожение уступа­ет кислотному. Такое тесто, приобретая излишние количества эти­лового спирта и кислот, растворяет белки клейковины (разжи­жает), теряя углекислоту — уменьшает объем, становится более плотным. Из табл. 3.1 видно, что бродящее тесто после 6 ч и особенно после 24 ч брожения по величинам модулей сдвига, вязкости, относительных пластичности и эластичности прибли­жается к этим показателям небродящего теста. Это показывает, что процессы дрожжевого брожения продолжительностью до 6 ч являются основной причиной существенных отличий структуры бродящего теста от его небродящей структуры. Опытами уста­новлено, что образцы бродящего пшеничного теста из муки I и II сортов имеют структуру, обладающую более совершенными свойствами упругости-эластичности (меньшим модулем сдвига), большей вязкостью и формоустойчивостью (η/Е), а также боль­шей стабильностью во времени в сравнении со структурой небро­дящего теста. Основной причиной этих отличий следует считать процесс спиртового брожения хлебопекарных дрожжей в бродя­щем тесте, образование в нем газонаполненных пор, вызывающих перманентное увеличение объема, развитие упруго-пластичных деформаций и упрочнение структуры вследствие ориентации по­лимеров в плоскостях сдвига. Кислотное брожение в нем менее значительно и, как показано ниже, влияет на эти свойства путем изменений процессов набухания и растворения соединений муки.

**ЗАВИСИМОСТЬ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БРОДЯЩЕГО ТЕСТА И КАЧЕСТВА ХЛЕБА ОТ ВИДА И СОРТА МУКИ**

Качество хлебных изделий — их объемный выход, форма, структура пористости и другие характеристики, определяются сортом муки и соответственно номируются ГОСТами.

Структура бродящего теста является непосредственным ма­териалом, из которого получают хлебные изделия путем его тер­мической обработки в печи. Представляло интерес исследование биохимических и структурно-механических свойств бродящего пшеничного теста в зависимости от сорта муки. Для указанной цели семь образцов мягких краснозерных пшениц размалывали на лабораторной мельнице трехсортным помолом с общим выхо­дом в среднем 78%. Затем мы исследовали газообразующую и газоудерживающую способность муки, структурно-механические характеристики сброженного теста после его расстойки, а также сырых клейковинных белков и их содержание в муке, удельный объем (в см3/г) формового, а также HID круглого подового хле­ба, выпеченного по ГОСТ 9404—60. Полученные результаты при­ведены в табл. 4.2. Они показали, что выход сортовой муки даже в условиях лабораторного опытного помола существенно колеб­лется и тем сильнее, чем выше ее сорт. Таким образом, техноло­гия помола зерна должна оказывать влияние на химический со­став, следовательно, и на структуру теста. Она является одним из существенных многочисленных факторов, влияющих на каче­ственные показатели муки, теста и хлебных изделий.

Таблица 4.2

Биохимические и структурно-механические характеристики

белков клейковины бродящего теста и хлеба

(средние данные)

Примечание. В числителе данные по белкам, в знаменателе – по тесту.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Газообразование,мл** | Газоудерживание | | **Е10, Па** | **η10,Пас** | **η/Е, с** | **П, %** | **Удельный объем хлеба, мл** | **Н/D** |
|  |
| Сорт муки | **мл** | % к газообразованию |
| Высший  I  II | 933 951 1204 | 328 321 309 | 35 33 25 | 1,1/8,2 0,9/6,9 1,2/7,9 | 2,4/8,9 2,1/7,1 2,3/5,9 | 219/110 232/105 192/76 | 47/62 45/63 52/72 | 3,10 3,00 2,62 | 0,39 0,34 0,27 |

Технологические свойства зерна и муки каждого сорта харак­теризует прежде всего их газообразующая способность. Это свой­ство характеризует способность зерна и муки превращать хими­ческую энергию окисления углеводов в тепловую и механическую энергию движения бродящего теста, преодолевающу инер­цию его массы. Определение газообразующей способности муки сопровождается учетом количества выделенной С02. Ее количе­ство, задержанное тестом, определяет его. газоудерживание по приросту объема. Этот физико-химический показатель характе­ризует своим обратным значением газопроницаемость теста по углекислому газу. Последняя зависит от структуры и величины основных упруго-пластичных (Е, *η,* η/Е) характеристик теста. Опыты показали, что газообразующая способность муки значи­тельно увеличивалась от высшего к первому и второму сортам, тогда как объемный выход хлеба, наоборот, понижался.

Газоудерживающая способность теста находится в прямой зависимости от газообразующей способности; несмотря на это, она в абсолютном и относительном (в % к газообразованию) значениях не увеличивалась, но заметно и закономерно понижа­лась с понижением сорта муки. Между абсолютным значением удержанного тестом СО и объемными характеристиками хлеба (объемным Выходом, удельным объемом) имеется тесная пря­мая зависимость. Изложенное позволяет сделать вывод, что дан­ные характеристики качества хлеба определяются в основном не биохимическими, а физико-химическим (газопроницаемостью) и механическими свойствами (η, **Е** и **η/Е**) теста. Последние за­висят в основном от соответствующих свойств сырых клейковин­ных белков и их содержания в тесте.

Опыты показали, что содержание сырых белков клейковины закономерно увеличивалось с понижением силы зерна и влагоем-кости (вязкости) муки и ее сорта. Структура белков муки выс­шего сорта имела более значительные величины модуля сдвига, а в среднем — и вязкости, чем структура белков муки I сорта. Это свидетельствует о их большей статистической молекулярной мас­се. Белки муки I сорта имели величину модуля сдвига и вязкость меньшие, чем эти характеристики белков муки II сорта, но пре­вышали их по величине **η/Е**. Это характеризует их большую эла­стичность и формоустойчивость.

Газоудерживающая способность теста и объемный выход хлебных изделий прямо зависят от продолжительности периода релаксации напряжений клейковинных белков и теста, или η/Е. Отношение вязкости к модулю клейковинных белков муки II сор­та было значительно меньшим, чем у белков муки высшего и I сортов.

Газоудерживающая способность теста из сортовой пшенич­ной муки зависела от соответствующих величин его модуля сдви­га и вязкости. Эти характеристики с понижением сорта муки уменьшались аналогично способности газоудерживания.

Установлено, что бродящее тесто из муки высшего сорта влажностью 44% подобно сырым клейковинным белкам этой му­ки имело наиболее значительные величины модулей сдвига, вяз­кости и отношения вязкости к модулю, наименьшую относительную пластичность. Из этого теста были получены хлебные изде­лия наиболее высокой пористости, удельного объема формового, а также отношения высоты к диаметру подового хлеба. Таким образом, несмотря на значительную вязкость наименьшее газо­образование благодаря высокому η/Е из этой муки получено те­сто и хлеб высокого объемного выхода. Высокие величины вяз­кости и η/Е способствовали получению подового хлеба с наибо­лее высоким Н/Д.

Тесто из муки I сорта влажностью 44% по величинам газо­удерживания, механическим характеристикам и качеству хлеба незначительно уступало качеству теста из муки высшего сорта, оно имело пониженные на 14—15% вязкость, η/Е теста, Н/Д. Это свидетельствует о том, что снижение вязкости теста из муки I сорта способствовало как развитию удельного объема формо­вого, так и увеличению расплываемости подового хлеба.

Тесто из муки II сорта имело более высокую влажность (45%). Несмотря на наибольшее газообразование, оно значитель­но уступало тесту высшего и I сортов муки по величинам газо­удерживания, вязкости. Отношение вязкости к модулю у этого теста, как и у клейковинных белков, было меньшим, а относи­тельная пластичность более высокой, чем у теста из муки выс­шего и I сортов. Качество полученных хлебных изделий было го­раздо ниже качества изделий из муки высшего и I сортов.

В целях уточнения влияния структурно-механических харак­теристик бродящего теста на физические свойства хлебных изде­лий мы дифференцировали результаты опытов на две группы. Первая группа образцов каждого сорта имела в среднем более высокие, чем среднеарифметические, модули сдвига и вязкость, вторая группа —более низкие. Учтены также характеристики газоудерживания теста и упруго-пластичных свойств сырых клей­ковинных белков (табл. 4.3).

Таблица 4.3

Усредненные характеристики теста повышенной и пониженной вязкости

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Сорт муки | Группа образцов | Газоудержи­вающая спо­собность | | Содержание клейко­вины, % | Клейковина | | Тесто | | Хлеб | |
|  | % к газообра­зованию | **η10, Па\*с** | η/E, c | **η10, Па\*с** | **η/Е, с** | удельный объем, мл/г | H/D |
| Высший | 1 | 321 | 36 | 35 | 2,0 | 165 | 10,9 | 109 | 2,90 | 0,40 |
|  | 2 | 323 | 35 | 36 | 2,6 | 210 | 6,8 | 118 | 3,40 | 0,39 |
| I | 1 | 325 | 34 | 41 | 2,2 | 237 | 7,0 | 91 | 2,96 | 0,38 |
|  | 2 | 351 | 34 | 42 | 1,8 | 217 | 6,8 | 109 | 3,37 | 0,36 |
| II | 1 | 301 | 27 | 43 | 2,4 | 196 | 7,1 | 71 | 2,51 | 0,29 |
|  | 2 | 316 | 24 | 41 | 2,1 | 172 | 4,8 | 82 | 2,71 | 0,27 |

Таблица 4.3

Из табл. 4.3 видно, что удельный объем хлеба из муки выс­шего сорта не зависит от величины газоудерживающей способ­ности теста, которая для обеих групп образцов оказалась прак­тически одинаковой. Удельный объем хлеба из муки I и II сор­тов находился в зависимости от несколько более высокой вели­чины газоудерживающей способности теста второй группы образ­цов. Количество сырой клейковины по обеим группам образцов для всех сортов муки оказалось примерно одинаковым и не мог­ло влиять на показатели качества хлеба.

Вязкость теста из муки высшего сорта обеих групп образцов оказалась в обратной зависимости, а отношение вязкости к мо­дулю— в прямой зависимости от соответствующих показателей их сырых клейковинных белков, у теста из муки I и II сортов обеих групп образцов — наоборот.

Отсюда можно сделать вывод, что основные характеристики бродящего теста — вязкость и отношение вязкости к модулю — зависят не только от соответствующих характеристик клейковин­ных белков, но и влияния других соединений зерна.

Объемный выход формового, а также H/D подового хлеба в пределах каждого из трех сортов пшеничной муки зависят от вязкости и отношения вязкости к модулю бродящего теста. Вяз­кость оказывает обратное влияние на величину объемного выхо­да и прямое влияние на величину H/D. Отношение вязкости к модулю оказывает прямое влияние на обе указанные характери­стики качества хлеба.

Степень влияния вязкости и отношения вязкости к модулю на физико-механические показатели качества хлеба может быть не­одинаковой и взаимно направленной. Она зависит как от вели­чины этих характеристик структуры теста, так и режимов его технологической обработки. Несмотря на это, данные табл. 4.3 позволяют объяснить полученные результаты не только сортом муки, но и зависимостью от величин вязкости и отношения вяз­кости к модулю теста. Так, значительную разницу в удельном объеме формового и H/D подового хлеба из муки высшего, I или II сортов при одинаковой примерно вязкости теста следует объ­яснить прежде всего неодинаковыми величинами их отношений вязкости к модулю. Полученные нами результаты позволяют констатировать, что сорт зерна, смолотого даже по одной и той же технологической схеме, оказывает влияние на газоудержива­ние и структурно-механические свойства теста, полученного из каждого сорта муки трехсортного помола. Вязкость и отношение вязкости к модулю бродящего теста из пшеничной сортовой му­ки можно использовать в качестве характеристик, предопреде­ляющих физико-механические показатели формового и подового хлеба. Поэтому представлялось целесообразным их определение и нормирование для простого теста из товарной муки основных сортов, получаемого на московских предприятиях в условиях действующих технологических режимов производства.

Путем массовых измерений упруго-пластичных характеристик сброженного, готового к разделке теста и статистической обра­ботки результатов были установлены средние оптимальные (М±δ) величины вязкости и отношения вязкости к модулю для трех сортов пшеничной и ржаной товарной муки (табл. 4.4).

Таблица 4.4

Средние оптимальные величины вязкости и η/Е бродящего теста (D=0,003 с)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Мука | Влажность теста,% | η , Пас | η/Е, с |
| Пшеничная I сорта | 44,5 | 4 - 7 | 80 |
| Ржаная |  |  |  |
| обойная | 52,0 | 1,2 – 1,8 | 16 |
| обдирная | 49,0 | 1,3 – 2,0 | 35 |

Сравнивая данные табл. 4.4. и 3.14, можно видеть, что бродя­щее тесто из пшеничной муки I сорта имеет, как и в табл. 3.1 и 4.1, значительно большие, а ржаное тесто обоих сортов —мень­шие, чем у небродящего теста, величины вязкости и отношения вязкости к модулю.

Основной причиной снижения вязкости и отношения вязкости к модулю бродящего теста из ржаной обойной муки следует счи­тать растворение его соединений кислотами теста.

Исследования влияния подкисления молочной кислотой не­бродящего теста из трех образцов ржаной обойной муки пока­зали, что все образцы подкисленного (до нормы бродящего) те­ста имели меньшую вязкость и отношение вязкости к модулю, чем у неподкисленного. Это следует отнести за счет частичной пепти-зации набухающих белков и других соединений ржи растворами органических кислот.

ВЛИЯНИЕ СОВРЕМЕННЫХ СПОСОБОВ ТЕСТОВЕДЕНИЯ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЕСТА И КАЧЕСТВО ХЛЕБНЫХ

ИЗДЕЛИИ [l4, 15]

За последние годы в СССР и за рубежом проведены работы, показавшие возможность сокращения расхода муки и времени на приготовление хлебных изделий. Это достигается примене­нием технологических схем, предусматривающих механическое воздействие на опару и тесто, активирующее их брожение. В основу таких схем заложено применение больших жидких (влажностью около 70%) или густых (влажностью 40—50%) опар.

Жидкие опары имеют вязкость на 1—2 десятичных порядка меньшую, чем густые; последние трудно перекачивать наверх; их после сбраживания разводят водой. Установлено, что разведенные опары имеют вязкость значительно ниже, чем неразведенные соответствующей влажности; при брожении вязкость опар снижается.

Сокращение продолжительности брожения опары и теста до­стигается более продолжительным интенсивным воздействием в процессе замешивания. При этом снижается количество отмывае­мых из теста белков клейковины, увеличивается содержание во­дорастворимых азотистых соединений, углеводов, повышаются атакуемость крахмала амилазой и бродильная активность дрож­жей. Перечисленные процессы повышают объемный выход теста и хлеба, улучшают структуру пористости мякиша, форму подо­вых изделий.

Указанные характеристики хлебных изделий улучшаются также путем дополнительной механической обработки теста в процессах его разделки. Однако чрезмерная механическая обра­ботка может привести к ухудшению физико-механических харак­теристик изделий, поэтому необходима ее оптимизация. В каче­стве критерия степени механического воздействия на тесто при его замешивании предлагается величина удельной работы. Она колеблется в зависимости от влагоемкости муки от 12 до 50 Дж/г.

На основании изложенного можно сделать следующие вы­воды.

Бродящее тесто в отличие от небродящего является более сложной двояко напряженной коллоидной дисперсной системой, включающей газовую фазу, имеющую поэтому пониженную плотность. Его пенообразная пористая масса, непрерывно обра­зуя С02, увеличивает объем — коалесцирует вследствие вырав­нивания давления соседних пор различного размера, образуя от­крытую структуру; в ней непрерывно происходят согласно зако­ну Стокса движение наиболее крупных пор вверх к поверхности теста и выделение углекислого газа. В процессе образования пор, увеличения объема малыми напряжениями и медленными дефор­мациями сдвига структуры бродящего теста эластифицируется, повышает вязкость и η/Е.

Бродящее тесто из пшеничной муки I и II сортов отличается от небродящего меньшими величинами модулей сдвига, относи­тельной пластичности (большей эластичностью), большими вяз­костью и отношением вязкости к модулю, а также стабильно­стью и увеличением этих характеристик в процессе брожения по­сле замешивания. Более существенные отличия установлены для теста из муки I сорта, имеющего меньшую на 3—4% влажность, чем тесто из муки II сорта, и иной химический состав.

Бродящее тесто из ржаной муки обойного и обдирного помо­лов отличается от небродящего большими величинами модулей сдвига, меньшими вязкостью и отношением вязкости к модулю. Это объясняется влиянием значительной концентрации в нем органических кислот, частично растворяющих набухающие бел­ки и другие полимеры зерна.

Структурно-механические свойства бродящего пшеничного те­ста и сырых белков клейковины из муки высшего, I и II сортов, полученных из одного зерна трехсортным помолом, вязкость, а также отношение вязкости к модулю существенно различаются: они определяют газоудерживающую способность теста, объем­ный выход формового, а также H/D подового хлеба. С пониже­нием сорта муки уменьшается вязкость и отношение вязкости к модулю клейковинных белков и газоудерживание теста, объем­ный выход хлеба, его пористость и H/D. Наиболее существенные различия указанных характеристик теста, клейковинных белков и хлеба наблюдаются между I и II сортами муки.

В пределах каждого сорта вязкость бродящего теста оказы­вает обратное влияние на развитие его объема (газоудержива­ние), объемный выход хлеба и прямое влияние на H/D хлеба. Отношение вязкости к модулю теста оказывают прямое влияние на оба показателя хлеба. Сорт зерна в ряде случаев оказывает влияние на структурно-механические свойства теста из муки каждого сорта.

Перечисленные свойства бродящего теста в целях контроля и управления ими целесообразно нормировать и регулировать. В качестве примерных норм для теста из пшеничной муки I сор­та, ржаной обойной и обдирной муки можно использовать ре­зультаты табл. 4.4.

ГЛАВА 5

ВЛИЯНИЕ ПРОГРЕВА НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЕСТА. МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ХЛЕБНОГО

МЯКИША

Процесс производства хлебных изделий завершается прогре­вом массы бродящего теста от 30 до 100°С в условиях больших градиентов тепло- и массопереноса.

Термическая обработка при выпечке в указанном интервале температуры существенно влияет на активность биохимических процессов, изменяет конформации молекул основных полимеров зерна, их гидрофильные свойства, а также механические свой­ства теста; в структуре уменьшается содержание свободной во­ды, тесто теряет способность течения под напряжением сил гра­витации массы. Затем пластично-упругая структура теста пре­вращается в упруго-хрупкую пластичную студнеобразную струк­туру хлебного мякиша. Следует полагать, что его пластичные деформации имеют место в основном при малых скоростях де­формации вследствие релаксации напряжений, а при больших скоростях—в результате явлений хрупкости, разрушения сплош­ности стенок пор концентрированного белково-крахмального студня — мякиша в упругой области. В связи с этим при иссле­довании механических свойств хлебного мякиша следует ограни­чиваться возможно малыми величинами его деформаций и их скорости. Вместо деформаций сдвига целесообразно использо­вать деформации одноосного сжатия пористой пенообразной' структуры мякиша.

Прогревание усиливает тепловое движение молекул химиче­ских соединений. В растворах полимеров оно снижает коэффи­циент внутреннего трения (вязкость). Обратная зависимость вязкости растворов полимеров от температуры определяется из­вестным эмпирическим уравнением Аррениуса

***η=Ае***

где A —постоянная, зависящая от свойств вещества;

е —основание натурального логарифма;

Т — абсолютная температура;

К — газовая постоянная;

Е — энергия активации (работа, затрачиваемая на перемещение частиц).

Однако это уравнение справедливо лишь для растворов низкой концентрации и при условии отсутствия существенных изме­нений формы молекул полимеров. Концентрация основных поли­меров зерна — клейковинных белков и крахмала — в хлебном тесте является весьма высокой, а термическая его обработка изменяет форму молекул, а также способность взаимодействия этих основных полимеров зерна с растворителем — водой. Раз­меры и формы их молекул изменяются также при гидролизе и брожении ферментами зерна и микроорганизмов теста.

Все указанные процессы могут оказывать влияние на струк­туру, изменять механические свойства теста. Поэтому следовало ожидать, что применение уравнения Аррениуса для структуры теста допустимо в весьма ограниченной области температуры. Зависимость этих свойств теста от температуры в широких ее пределах является более сложной. Рассмотрим более подробно ее возможное влияние на эти свойства: прогрев теста при выпеч­ке и превращение его в хлебный мякиш протекает в две основные стадии. В начальной стадии прогрева теста до 50—60°С активи­руются ферментные системы теста, увеличивается содержание в нем водорастворимых соединений, которые могут пластифициро­вать структуру и одновременно с усилением молекулярно-теплового движения снижать вязкость, усиливать его адгезионные свойства. На этой стадии начинаются также основные процессы выпечки хлеба: клейстеризация крахмала и денатурация белков зерна, которые наиболее активно протекают и заканчиваются во второй, завершающей стадии прогрева теста от 60 до 100°С, ко­гда имеет место также инактивация его ферментных систем.