

ЛАЗЕРНАЯ МАРКИРОВКА ОВОЩЕЙ И ФРУКТОВ. ЧАСТЬ 1. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

А.В. ВАСЯНОВИЧ, Ю.П. МАЧЕХИН, В.Ф. ГОРДУС, В.В. КОТЕЛЬНИКОВ

В данной статье рассмотрена задача лазерной маркировки органических материалов, овощей и фруктов. Приведены результаты лазерного воздействия на некоторые фрукты, с различными свойствами внешней кожуры. Экспериментальным способом выявлены оптимальные режимы работы лазерной установки для маркировки отдельных видов фруктов и овощей.

Ключевые слова: маркировка, лазер, CO₂, органические материалы, пищевая промышленность.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из важнейших процессов современного производства является маркировка выпускаемой продукции. Маркировка деталей, узлов или конечного изделия позволяет производителю контролировать объём и качество выпускаемой продукции, продвигать свою торговую марку. Конечный пользователь получает на маркированном изделии информацию о типе и параметрах, сроках годности и реализации продукции, гарантию качества от производителя.

Существует несколько видов маркировки: штампование, нанесение клейма, ударно-точечная и капле струйная, которые достаточно давно и успешно применяются во многих сферах производства, однако имеют ряд недостатков. Некоторые виды маркировки нарушают целостность поверхности изделия, другие виды маркировки не обеспечивают необходимой надёжности и целостности маркировки.

Возможность исключения указанных недостатков традиционной маркировки связана с использованием лазерной маркировки. Разновидность материалов, маркируемых лазером, очень широка: металлы и сплавы, керамика, пластик, полупроводники, стекло, дерево и т.д. Лазерная маркировка не влияет на свойства маркируемой продукции и осуществляется качественно, точно и быстро. В современных условиях лазерная маркировка считается одной из надёжнейших маркировок, обеспечивающих предотвращение фальсификации фирменного товара.

Можно выделить следующие преимущества лазерной маркировки:

- отсутствие механического контакта;
- возможность маркировки в условиях массового конвейерного производства;
- вне конкуренции при частой сменяемости продукции и малых сериях;
- долговечность нанесённой лазером маркировки;
- малое количество удаляемого материала (важно при обработке Au, Pt и т. п.);
- возможность нанесения маркировки на неплоские поверхности;
- возможность нанесения штрих – кодов и рисунков (иероглифов и т.п.).

Такой тип маркировки успешно применяется в пищевой промышленности – при изготовлении всевозможной упаковочной продукции, изготовления этикеток, наклеек и т.п. [1] Сравнительно недавно было опробовано нанесение маркировки непосредственно на продукт. Отдельный интерес представляет лазерная маркировка органических материалов, например, овощей и фруктов. Известно, что пищевые продукты имеют свойство портиться, в том числе и от лазерного воздействия, поэтому при разработке технологии нанесения маркировки на овощи и фрукты, необходимо найти те уровни мощности и те условия воздействия, при которых не будет нарушаться долговременная сохранность продуктов.

Воздействие лазерного излучения на органические объекты можно отнести к нелинейным процессам абляции, которые представляют собой процесс фотодекомпозиции (разрушение молекулярных связей оптическим излучением) с формированием дефекта тканей и выбросом органической ткани из зоны облучения. Поэтому исследователи лазерных технологий рассматривают лазерную абляцию в биологии и медицине как процесс разрушения органического вещества, аналогичный испарению или сублимации. При нанесении маркировки на овощи и фрукты конечный результат лазерной абляции не должен остановить биологические процессы, протекающие в обрабатываемом органическом веществе. Это главное условие, которое должно обеспечить сохранность овощей и фруктов после нанесения маркировки. Сохранность рассматриваемых продуктов питания возможна в определенных температурных условиях, но только при условии отсутствия повреждений защитной кожуры. Поэтому, лазерная абляция должна проводиться в условиях, когда само нанесение маркировки не снижает защитные свойства внешнего покрова овощей и фруктов или существенно не уменьшает время хранения последних. Можно выделить три фазы повреждения ткани маркировкой, они показывают различные уровни повреждения ткани во время процесса маркировки [2]:

1. Первая фаза заключается в изменении цвета внешнего слоя клеток по краям пятна воз-

действия. Нагревание приводит к началу процесса вспенивания. По краям этих областей снижается тепловая нагрузка, что приводит к меньшему лучевому взаимодействию. В этом случае лазерная маркировка производит эффект похожий на механическую гравировку (травление), где срезанные поверхности быстро потемнели (стали коричневыми) в результате окисления.

2. Другая фаза осуществляется при более высоких уровнях интенсивности лазерного излучения, когда вода в ткани растения полностью испаряется, что характеризует завершение процесса вспенивания и начинается сжигание сухой ткани.

3. Третья фаза наступает тогда, когда внутренние части маркируемых областей сильно нагреваются, но из-за низкой теплопроводности смежные, необработанные области, обеспечивают зрительный эффект гравирования ткани продукта.

Целью настоящей работы было проведение экспериментальных исследований воздействия лазерного излучения на фрукты и подготовка результатов этого взаимодействия для построения теоретических основ лазерной абляции фруктов и овощей.

1. ФИЗИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ АБЛЯЦИИ ФРУКТОВ И ОВОЩЕЙ

Лазерная абляция представляет собой одну из разновидностей теплового воздействия лазерного излучения. Поэтому физическая модель лазерной обработки основывается на законе поглощения Ламберта-Бугера-Бэра

$$q(x) = q_0(1 - R)e^{-\alpha x}.$$

Основной параметр α характеризует глубину проникновения излучения в твердую среду. Однако при работе с органическим веществом очень важно, чтобы тепловое воздействие, приводящее к нагреву, приводило также и к цветовому изменению обработанных лазерным излучением участков. То есть воздействие должно приводить к испарению воды и первоначальному этапу сжигания высушенной поверхности, но при этом глубина проникновения не должна превышать толщины защитной кожуры. Поэтому режим работы маркировки будет зависеть не только от конкретного фрукта или овоща, но и от зрелости плода и его размеров.

Среди всех изученных эффектов, возникающих при лазерном нагреве твердых тел, пока нет тех, которые позволили бы объяснить процессы воздействия лазерного излучения на органические материалы (овощи, фрукты и любая другая пищевая растительность). В случае органических материалов, подвергающихся лазерному воздействию говорить о лазерной абляции можно при условии, что режим работы позволяет на первом этапе удалять воду из кожи фруктов или овощей.

Здесь следует отметить возможность применения нового подхода к реализации лазерной маркировки. Этот подход связан с осуществлением маркировки на недозрелых плодах, у которых толщина кожуры увеличена, что защищает внутреннюю среду от возможных повреждений. Такой подход требует не только тщательных расчетов и экспериментальных исследований, но и организационных мероприятий, которые будут обеспечивать работу лазерного маркиратора в полевых условиях.

Единого мнения как осуществляется нанесение маркера на фрукты и овощи пока не сформулировано. Существует несколько моделей, к первой относится представление, что лазерный луч не проникает в кожуру, он только лишает пигментации его верхний слой. Например, технология маркировки апельсина проста, сначала прожигающий удар, который и обесцвечивает его пигмент. Поскольку, толщина кожи цитрусовых весьма велика, то режим осуществления "татуировки" не требует очень точных, подготовительных расчетов. Поэтому самые первые эксперименты по лазерному маркированию проводились с цитрусами.

На основании этого подхода невозможно разработать метод нанесения маркера на кожуру яблока. Очень долгое время считалось, что простое прожигание кожуры яблока приведет к быстрой порче последнего, поэтому для яблок технология лазерной маркировки не разрабатывалась. Однако, когда в лазерной маркировке фруктов от обычного теплового воздействия перешли к управляемому процессу высушивания, оказалось возможным наносить маркировку и на такие «нежные» овощи, как помидоры.

Прежде чем разрабатывать технологии по лазерной маркировке фруктов и овощей в настоящей работе были проведены первые экспериментальные исследования по подбору оборудования, которое обеспечит управляемый процесс нанесения на органический материал маркировки.

2. ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Для большинства процессов лазерной маркировки подходит CO₂ лазер. Для поставленных в настоящей работе задач использовался комплекс Rofin Multiscan. В состав комплекса входит CO₂ лазер, длина волны которого 10,6 мкм, которая эффективно поглощается органическими материалами, программно-электронный блок, управляющий положением лазерного пучка в пространстве с помощью сканатора. Общий вид экспериментальной установки представлен на рис. 1 [3].

Rofin Multiscan CO₂ был разработан специально для произведения буквенного (числового) и/или более сложного графического лазерного маркирования по широкому спектру разных материалов. Разработанное программное обес-

печение позволяет размещать информацию для маркировки в любом месте области сканатора, возможно воспроизведение традиционных и двухмерных штрих кодов.

При выполнении экспериментов мощность излучения менялась в интервале от 90 до 102 Вт, время маркировки от 0,1 до 0,5 с, скорость маркировки от 4000 до 10000 мм/с. Остальные технические параметры устанавливались в соответствии с паспортными данными комплекса.



Рис. 1. Общий вид экспериментальной установки

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве исследуемых материалов были выбраны такие фрукты: банан, яблоко, лимон, киви. Согласно изученным источникам информации, лазерная маркировка успешно применяется для микрообработки тыквы, помидоров, арбузов, апельсинов и пр.

На рис. 2 можно увидеть результаты эксперимента по применению CO_2 лазера для маркировки яблока, на фотографии показана маркировка после одного прохода лазерного излучения мощностью 102 Вт, со скоростью 10000 мм/с.



Рис. 2. Результат маркировки яблока

Надпись видна недостаточно четко, но, как показывает практика, большее количество проходов лишь повредит кожуру фрукта, что в конечном итоге приведет к порче продукта (рис. 3).



Рис. 3. Результат маркировки яблока

Поэтому в последующих экспериментах была понижена скорость маркировки до 5000 мм/с. Результат изображен на рис. 4.



Рис. 4. Результат маркировки яблока

Далее на конвейерную ленту был положен банан. Известно, что даже без обработки кожура банана имеет свойство темнеть. Поэтому было решено понизить мощность до 90 Вт и скорость маркировки до 4000 мм/с, что дало результат. При большей мощности (102 Вт) лазерный луч травмирует кожуру, что в течение нескольких часов приводит товар в непригодный вид (рис. 5).



Рис. 5. Результат маркировки банана

Эксперимент был продолжен на лимоне. Для маркировки данного плода лазер был настроен на такой режим работы: $P = 102$ Вт, скорость маркировки, $v = 10000$ мм/с. Несмотря на неоднородность поверхности кожуры лимона, маркируемое изображение получилось хорошего качества (рис. 6).



Рис. 6. Результат маркировки лимона

Хорошие результаты дал процесс маркировки киви (рис. 7). Особенности строения кожицы этого плода позволяет выбирать достаточно большой спектр рабочих параметров, например, если необходимо максимально ускорить пропускную способность комплекса. Оптимальные требования, обеспечивающие минимальное время для маркировки одного плода киви таковы: мощность 102 Вт, скорость маркировки – 22000 мм/с.



Рис. 7. Результат маркировки киви

Обработка куриных яиц лазером применяется около 7 лет, и уже успела зарекомендовать себя как высокотехнологический процесс, позволяющий значительно поднять экономические показатели и обеспечить потребителя важной информацией о товаре.

На рис. 8 представлено фото промаркированного яйца. Процесс происходил при таких рабочих параметрах: мощность излучения – 102 Вт, скорость маркировки – 20 000 мм/с.



Рис. 8. Результат маркировки яйца

Следует отметить, что время маркировки нужно уменьшить в случае, если яйцо белого цвета. Ведь, как видно на рис. 4, при маркировке коричневого яйца изображение получается бежевого, ближе к белому цвета.

При изменении скорости маркировки, скорлупа получит большую энергию, и место обработки приобретет черный цвет (рис. 9).



Рис. 9. Результат маркировки яйца

По итогам проведенного эксперимента можно сделать следующие выводы:

- при маркировке плодов с «нежной» кожурой следует применять режимы работы с меньшей мощностью;
- для некоторых материалов возможно использование контрастной жидкости;
- качество маркировки может ухудшиться в случае, если поверхность обрабатываемого объекта содержит некоторые неровности;
- для яиц разного цвета требуется различное время маркировки;
- в зависимости от поставленной задачи можно варьировать параметры маркиратора (менять значения мощности и частоты излучения, скорости маркировки);
- также важно отметить, что параметры режима маркировки могут отличаться, например, для разных сортов яблок, поэтому каждый отдельный продукт требует отдельного эксперимента.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исходя из проведенных экспериментов, можно выделить несколько важных моментов:

- при анализе условий осуществления лазерной маркировки того или иного продукта следует тщательно подготовить исходную информацию о маркируемом объекте.
- опираясь на эти данные, необходимо подобрать лазер, провести моделирование, численный эксперимент, а лишь затем переходить к обработке.

Также следует учесть тот факт, что при разработке технологии лазерной маркировки, как следует из теоретического анализа, в вопросах, связанных с фруктами, необходимо контролировать каждый плод.

Предложено проводить лазерную маркировку на недозрелых плодах, чтобы исключить разброс параметров маркируемого объекта. Поэтому даже в самых автоматизированных процессах необходим оперативный анализ объекта, подготовленного к маркировке.

Результаты проделанной работы могут быть использованы при разработке технологии лазерной маркировки овощей и фруктов и проектировании технических комплексов.

Литература

- [1] *Федько В.П.* Упаковка и маркировка / В.П. Федько. – М.: Инфра-М, 2007. – 280 с.
- [2] *Christian Marx, Michael Hustedt.* Investigations on laser marking of plants and fruits // International Symposium on New Technologies for Environment Control, Energy-Saving and Crop Production in Greenhouse and Plant Factory. – Greensys. – 2013.
- [3] Лазерные маркираторы [Электронный ресурс] / Украина. – Режим доступа: [www/ URL: http://www.niilt.kharkov.com/rofin](http://www.niilt.kharkov.com/rofin)

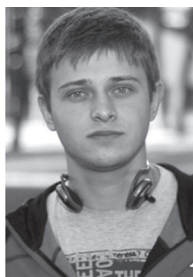
Поступила в редколлегию 17.06.2015



Васянович Анатолий Владимирович, кандидат физико-математических наук, профессор кафедры физических основ электронной техники Харьковского национального университета радиоэлектроники, декан факультета электронной техники, член-корреспондент Академии наук прикладной радиоэлектроники. Научные интересы: радиофизика, компьютерное моделирование процесса взаимодействия электронных потоков с электромагнитными волнами.



Мачехин Юрий Павлович, доктор технических наук, лауреат Государственной премии Украины в области науки и техники, заслуженный метролог Украины, академик Академии наук прикладной радиоэлектроники, заведующий кафедрой физических основ электронной техники Харьковского национального университета радиоэлектроники. Научные интересы: лазерная измерительная техника и оптоэлектронные приборы.



Гордус Виталий Федорович, специалист факультета электронной техники Харьковского национального университета радиоэлектроники ХНУРЭ. Научные интересы: прецизионная лазерная техника.



Котельников Владислав Валерьевич, магистр факультета электронной техники Харьковского национального университета радиоэлектроники. Научные интересы: прецизионная лазерная техника.

УДК 681.7.069.24:366.643

Експериментальне дослідження лазерного маркування овочів і фруктів / А.В. Васянович, Ю.П. Мачехін, В.Ф. Гордус, В.В. Котельников // Прикладна радіоелектроніка: наук.-техн. журнал. — 2015. — Том 14. — № 2. — С. 189–193.

У статті розглянуто теоретичні основи застосування CO_2 лазера для маркування органічних матеріалів. Експериментальним способом виявлено оптимальні режими роботи лазерної установки для маркування окремих видів фруктів і овочів. Дано рекомендації щодо застосування маркування даного типу в умовах промислового виробництва.

Ключові слова: маркування, лазер, CO_2 , органічні матеріали, харчова промисловість.

Л.: 09. Бібліогр.: 03 найм.

UDC 681.7.069.24:366.643

Experimental research of laser labeling of fruits and vegetables / A.V. Vasyanovich, Yu.P. Machekhin, V.F. Gordus, V.V. Kotel'nikov // Applied Radio Electronics: Sci. Journ. — 2015. — Vol. 14. — № 2. — P. 189–193.

The paper deals with the theoretical bases for the use of a CO_2 laser to perform labeling of organic materials. The optimal performance regimes of the laser device have been experimentally revealed in terms of the labeling of some types of fruits and vegetables. Recommendations have been given for the use of this type of labeling in conditions of industrial production.

Keywords: labeling, CO_2 laser, organic materials, food industry.

Fig.: 09. Ref.: 03 items.