

Рассмотрены принципы измерения толщины алюминиевой полосы в станах холодного проката, реализованные в измерительных системах Millmate Thickness Gauge (MTG) компании ABB. Система MTG выполняет измерения с высокой точностью, безопасно и не зависит от условий окружающей среды прокатного производства. Обычно измерения толщины полосы выполняются в диапазоне 0,5...8 мм, но благодаря новому режиму High-pass Mode открывается возможность для измерения отклонений толщины тонкой алюминиевой полосы при ее номинальной толщине в диапазоне 0,1...0,6 мм, что позволяет использовать его в режиме работы стана Feedforward, когда толщиномер устанавливается перед клетью.

Ключевые слова: прокат алюминия, измерение толщины, толщиномер, измерительная система, импульсные вихревые токи.

Введение

Алюминий — легкий парамагнитный металл серебристо-белого цвета, легко поддающийся формовке, литью, механической обработке. Алюминий обладает высокой тепло- и электропроводностью, стойкостью к коррозии за счет быстрого образования прочных оксидных пленок, защищающих поверхность от дальнейшей коррозии. Алюминий идеально подходит для решения многих потребительских и промышленных задач. Его использование помогает снизить расход энергии и уменьшает выбросы CO₂, что очень актуально для современного рынка. Неудивительно, что алюминиевый лист пользуется большим спросом, например, в качестве упаковочного материала и для производства консервных банок; для транспортных средств, особенно для кузовов автомобилей, например, модель Ford F-150 и т.д. Ожидается, что североамериканский рынок легких материалов в период 2020...2025 гг. резко вырастет, и алюминий займет самую высокую долю рынка в стоимостном выражении [1]. Однако получение качественного конечного продукта из алюминия требует от производителей контроля за химическим составом, процессами механической и термической обработок. Отдельная важная задача — измерение и контроль толщины алюминиевой полосы.

Для решения указанной проблемы станы холодной прокатки оснащаются системами измерения толщины, к которым предъявляются требования по на-

дежности, безопасности, точности. Кроме того, эти системы должны работать в условиях тяжелого промышленного производства при ограниченном пространстве на стане для установки оборудования.

Процесс прокатки и поддержание толщины полосы при прокате

Во время прокатки металл подвергается интенсивному обжатию и растяжению в жестких условиях окружающей среды (наличие пыли, пара, эмульсий и других агрессивных сред). В процессе прокатки изменяются профиль и толщина полосы вплоть до достижения заданных размеров. В момент прохода полосы через клеть ее скорость на выходе увеличивается для компенсации изменения ее толщины. Определение и поддержание правильного баланса между усилием обжатия и натяжением полосы является ключевым моментом при прокатке, поскольку даже незначительное его нарушение может привести к разрыву полосы или ее заклиниванию в рабочих валках. Таким образом, системы измерения толщины должны измерять толщину проката с определенной точностью при прокате на различных скоростях, обеспечивая тем самым максимальную производительность и минимизируя затраты, связанные с производством некачественной полосы. На станах холодной прокатки, где алюминиевый лист производится в соответствии с заданными требованиями по толщине листа, а производство носит непрерывный характер, возможность реализовать более жесткие допуски по толщине проката позволяет повысить эффективность технологического процесса и обеспечит выход на дополнительные рынки сбыта. Например, прокатанная полоса для производства алюминиевых банок должна иметь очень малое отклонение по толщине — в пределах пары микрометров по всей площади — при толщине полосы 200 мкм.

Для решения такого рода задач компания ABB разработала моноблочный толщиномер MTG, принцип измерения которого основан на технологии импульсных вихревых токов Pulsed Eddy Current (PEC) (рис. 1).

Односторонний измеритель толщины для алюминиевой полосы

Запатентованная технология PEC позволяет определять толщину, удельное сопротивление и расстояние между электромагнитной катушкой и прокатываемой полосой [2].

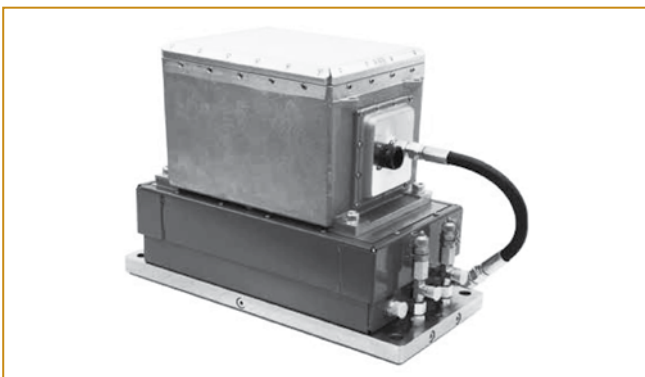


Рис. 1. Измерительная головка моноблочного толщиномера устанавливается непосредственно в прокатный стан и только с одной стороны от прокатываемой полосы; может быть смонтирована ниже уровня направляющих столов для ее защиты во время заправки и выпуска полосы, а также при ее разрыве

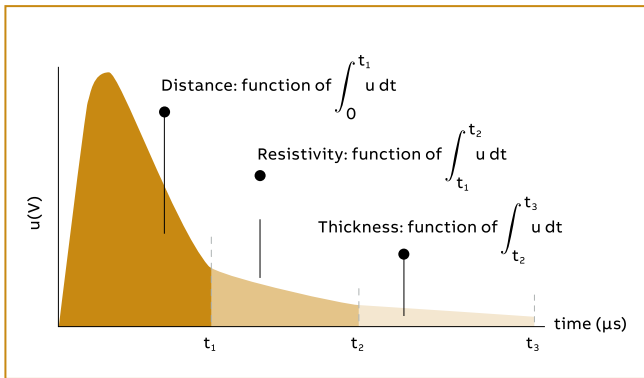


Рис. 2. Магнитный сигнал, принимаемый и обрабатываемый системой MTG после намагничивания полосы. В период времени $0-t_1$ – производится измерение расстояния между полосой (Distance) и электромагнитной катушкой в корпусе толщиномера, в период времени t_1-t_2 – производится измерение удельного сопротивления прокатываемой полосы (Resistivity), в период времени t_2-t_3 – производится измерение толщины прокатываемой полосы (Thickness).

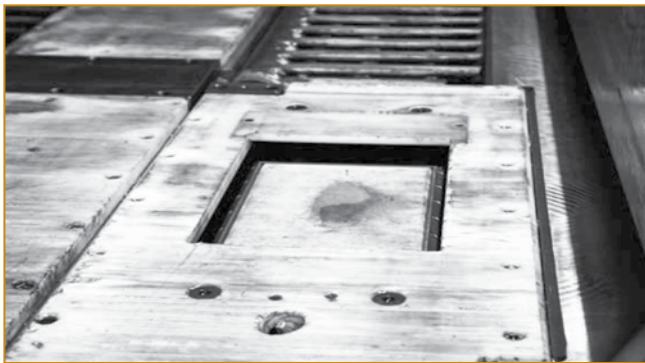


Рис. 3. Поскольку измерения происходят вне зависимости от условий окружающей среды, то измерительная головка толщиномера может быть расположена в непосредственной близости от рабочих валков или в межклетьевом промежутке. Электромагнитные катушки закрыты со стороны измерения стеклопластиковой плитой и надежно защищены от агрессивных воздействий процесса прокатки.

Электромагнитные катушки располагаются сразу под стеклопластиковой плитой измерительной головки и генерируют слабое импульсное магнитное поле. После резкого прерывания тока, возбуждающего катушку, в полосе возникают вихревые токи, создающие магнитное поле, которое генерирует электрический ток в катушке и напряжение, которое и измеряется системой. Анализ данного напряжения позволяет определить три основных измеряемых параметра (рис. 2). Измерительная система определяет удельное сопротивление в диапазоне 27...65 нОм • м, толщину листа алюминия, его сплавов и плакированного алюминия в диапазоне 0,5...8 мм [1]. Новый режим работы системы MTG называется High-pass Mode и предназначается для определения отклонений толщины тонкой алюминиевой полосы при номинальной ее толщине в диапазоне 0,1...0,6 мм. Благодаря данному измерению пользователь может

заблаговременно определить присутствующие отклонения в толщине полосы перед ее входом в межвалковый зазор и компенсировать их, используя механизмы стана, предназначенные для коррекции профиля и плоскостности полосы.

Толщиномеры MTG компании АВВ для измерения толщины алюминия характеризуется рядом преимуществ по сравнению с традиционными толщиномерами, сконструированными на принципах измерения радиоизотопного излучения [2].

- *Прочная и компактная конструкция.* Корпус прибора выполнен из алюминиевой бронзы, который защищает измерительную часть прибора от тяжелых условий эксплуатации на прокатных станах.

- *Односторонность.* Измерительная головка MTG не имеет традиционного зазора, через который должна быть пропущена полоса, и устанавливается на любом расстоянии относительно центра полосы (рис. 3). Измерительная головка состоит из одного моноблока и может быть смонтирована ниже уровня направляющих столов, для ее защиты во время заправки и выпуска полосы, а также при ее разрыве.

- *Независимость от марки сплава.* Технология измерения РЕС позволяет измерять толщину полосы вне зависимости от химического состава сплава, что устраняет необходимость внесения поправочных коэффициентов при смене марки сплава.

- *Независимость к условиям окружающей среды на стане.* Измерения системы являются нечувствительными к агрессивным средам, применяемым на прокатных станах, таким как смазочно-охлаждающие жидкости, эмульсии, пары, масла и пр. Поэтому толщиномер MTG идеально подходит для применения в межклетевых промежутках стана.

- *Высокая точность измерения.* Отклонения в химическом составе сплава и тяжелые условия прокатного производства не влияют на показания толщиномера MTG, поэтому изготовители алюминиевой полосы могут прокатать необходимую толщину на стане с точностью $\pm 1,5 \text{ мкм} \pm 0,0005 \cdot \text{толщина}$.

- *Безопасность для человека и окружающей среды.* Поскольку толщиномеры MTG не используют радиоизотопную технологию измерения, то нет необходимости прибегать к дополнительным мерам по охране труда и защите окружающей среды. Не требуется организация зон с ограниченным допуском, а также отсутствует необходимость в утилизации радиоактивных отходов.

- *Редкая и быстрая калибровка.* Толщиномер поставляется откалиброванным в комплекте с 12 калибровочными пластинами. В процессе эксплуатации его калибровка проводится каждые 6 мес. и может быть выполнена всего за 20 мин. Калибровочные пластины – это эталоны, благодаря которым толщиномер настраивается на измерение абсолютной толщины и на измерение отклонений толщины.

- *Низкие операционные расходы на обслуживание.* Без наличия хрупких и быстроизнашиваемых деталей,

без источников или приемников радиации, без использования высоковольтных бабин или высокоточной механики, толщиномер MTG практически не нуждается в техническом обслуживании.

- *Сокращение простоев на производстве.* Поскольку измерения не зависят от марки сплава, то сокращается время, необходимое для перенастройки толщиномера и его техническое обслуживание при переходе на другой сортament.

- *Короткий и конкурентный срок окупаемости.* Толщиномер MTG, изготавливаемый по технологии PEC, становится в настоящее время экономически эффективной альтернативой толщиномерам, изготавливаемым по радиоизотопным технологиям, поскольку он позволяет сокращать необходимое время на перенастройку стана и техническое обслуживание толщиномера, снижать количество обрести и брака, сокращать объем закупаемых запасных частей, увеличивать межкалибровочный интервал и снижать требования по безопасности.

Препятствия при расширении границ измерения

Толщиномеры MTG с технологией PEC присутствуют на рынке уже более 15 лет, позволяя производителям алюминиевого проката выпускать продукцию в соответствии с жесткими требованиями по толщине и заменять радиоизотопные и контактные толщиномеры для повышения своей конкурентоспособности в сегменте производства стандартной алюминиевой полосы. Но, что, если потребуется производить измерения для очень тонкой алюминиевой полосы, толщиной $\geq 0,1$ мм? В настоящее время радиоизотопные толщиномеры могут производить измерения для таких тонких полос при высокой скорости прокатки и с высоким качеством измерения. Механические контактные толщиномеры и бесконтактный С-образный толщиномер MTG от АВВ также могут выполнять точные измерения для тонкого проката, но только близко к краю полосы; и не могут производить измерения в центральной части полосы. Низкая практичность контактных толщиномеров и высокие требования по безопасности к радиоизотопным толщиномерам являются главными проблемами для широкого распространения данных приборов среди производителей алюминиевой полосы.

Режим работы High-pass Mode

Постоянно изучая потребности рынка, компания АВВ в 2019 г. начала исследовать возможности расширения функциональности моноблочного толщиномера АВВ, чтобы он смог производить измерения толщины для тонкого проката. Несмотря на то, что данный толщиномер не может измерить абсолютную толщину тонкого листа, был реализован специальный режим его работы, который при соблюдении нескольких условий позволил измерять отклонения толщины (при их теоретическом

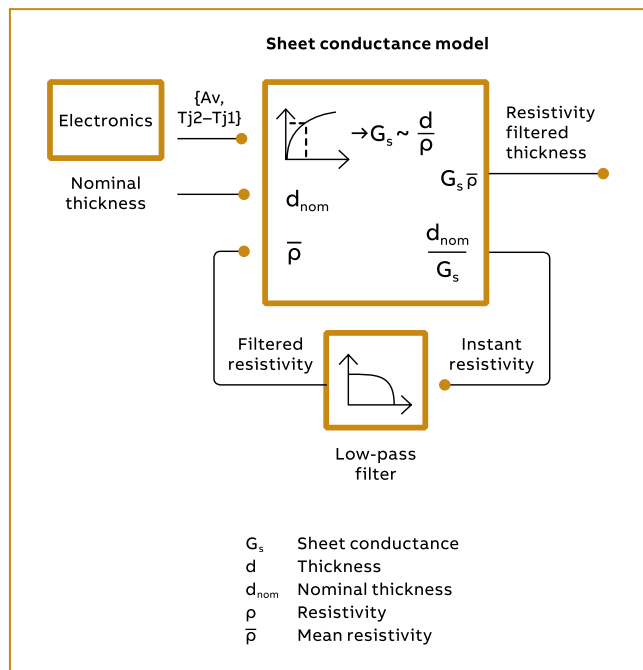


Рис. 4. Функциональная схема работы режима High-pass Mode

появлении в полосе с частотой не реже 0,024 Гц) в диапазоне толщин 0,1...0,6 мм с прекрасным соотношением сигнал/шум. Данный режим получил название High-pass Mode (рис. 4) [4]. Ниже приведены условия, которые необходимо выполнить для правильного функционирования данного режима.

- Реальные отклонения в полосе должны появляться не реже одного раза в 10 с, в противном случае толщиномер будет показывать нулевое значение. Поэтому данный режим пригоден только, когда толщиномер устанавливается перед клетью или в межклетьевом промежутке, и система управления стана будет использовать показания толщиномера в режиме регулирования Feedforward.

- Относительные отклонения удельного сопротивления должны быть меньше, чем относительные отклонения толщины (высокая однородность материала), поскольку соизмеримые изменения в удельном сопротивлении будут влиять на точность измеряемых отклонений по толщине.

- Для точного измерения отклонения толщины уставка номинальной толщины должна быть как можно ближе к фактической средней толщине по всей длине полосы.

- Толщиномер измеряет только часто повторяющиеся отклонения по толщине, редко появляющиеся отклонения не измеряются (смотри выше).

Практические результаты для измерения тонкого проката

Инновационный режим High-pass Mode предоставляет потребителям практическую возможность бесконтактного измерения отклонений толщины тонкой алюминиевой полосы. Измерения нечувствительны

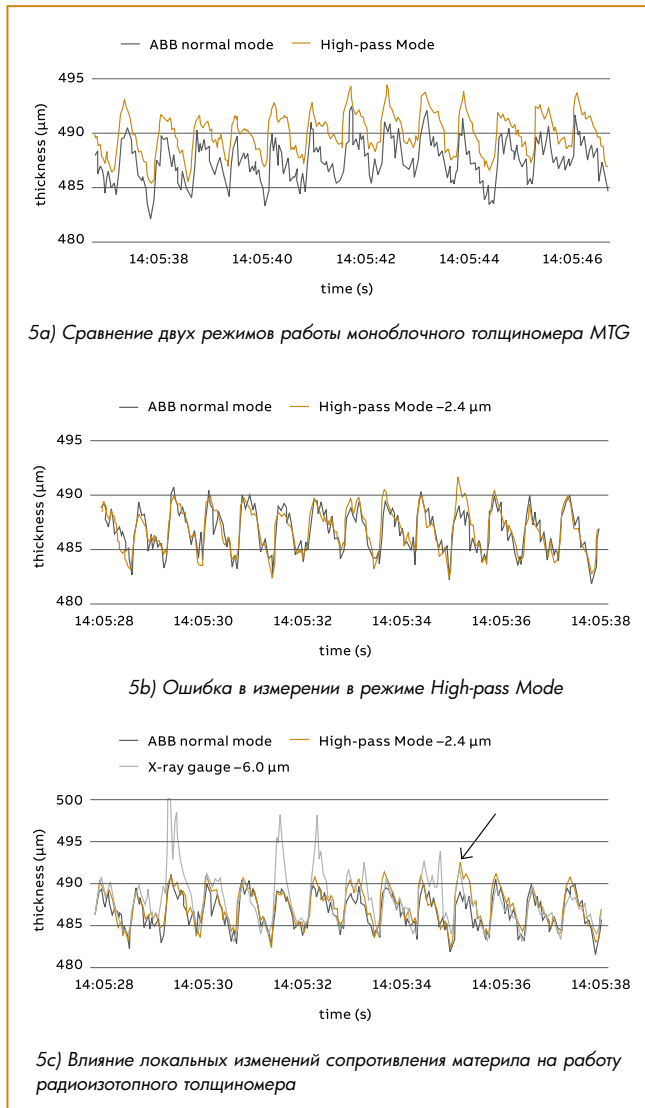


Рис. 5. Сравнение показаний различных толщиномеров при их работе в различных режимах.

к негативным факторам окружающей среды, таким как наличие эмульсии, пара, различных масел и других непроводящих материалов. Теоретические расчеты и практические испытания показывают, что незначительные отклонения в химическом составе сплава фактически не оказывают какого-либо заметного влияния на выполняемые измерения толщины.

Сравнение различных режимов работы моноблочного толщиномера MTG приведено на рис.5. Измерения проводились при толщине полосы 490 мкм. Несмотря на то, что толщиномер MTG производит измерения вне зависимости от марки сплава, однако, чем тоньше становится полоса, тем труднее производить измерения вследствие физических свойств электромагнетизма. В данном случае на рис. 5а, производится сравнение для толщиномера MTG, функционирующем в нормальном режиме работы и в режиме работы High-pass Mode. По графику видно,

насколько сигнал, измеряемый в режиме High-pass Mode более стабильный и качественный, несмотря на то, что толщина не намного тоньше минимально допустимой для нормального режима работы.

Однако в режиме High-pass Mode толщиномер не измеряет абсолютную толщину, а он измеряет отклонения толщины, которые производятся относительно уставки номинальной толщины, задаваемой оператором. Тем не менее просматривается четкое соответствие сигналов между нормальным режимом работы и режимом High-pass Mode при условии, что удельная проводимость берется как среднее значение на 10 секундном интервале. Все же локальные изменения в сопротивлении материала, оказывают влияние на измерения в режиме High-pass Mode, что фиксируется как ошибка в измерении. На графике рис. 5b можно заметить всплеск в измерении отклонения толщины, когда измеренное значение оказалось на 3,5 мкм (0,7 %) больше, чем фактическое. Это явилось результатом снижения измеряемого сопротивления материала на 0,4 нОм (0,7 %) и длившееся всего 0,5 с. Тем не менее такие аномалии не явились неожиданными, и возможность их возникновения была обоснована при теоретических расчетах.

Сравнение работы толщиномера MTG и радиоизотопного толщиномера приведено на рис. 5с. Здесь отмечено место, где видно, что локальные измерения в сопротивлении материала, также влияют на работу радиоизотопного толщиномера.

Такие впечатляющие результаты не только подтверждают теоретические расчеты, но и демонстрируют, что качество получаемых измерений в режиме работы High-pass Mode сравнимо с качеством работы в нормальном режиме работы толщиномера MTG и также сравнимо с качеством работы радиоизотопных толщиномеров, при соблюдении условий описанных ранее.

Моноблочный толщиномер MTG – производительность и точность

Толщиномер MTG состоит из головки толщиномера, станции сервисного обслуживания и отображения информации, блока обработки сигналов, воздушного фильтра-редуктора, гидравлического клапанного стенда, согласующего блока (рис. 6). Толщиномер был сконструирован с учетом удобства эксплуатации, оптимизации работы, надежности, легкости монтажа и ввода в эксплуатацию, и может быть подключен к АСУ стана для корректировки толщины в режиме реального времени. Для этого могут быть использоваться как полевые шины, включая Profibus-DP, так и сетевые шины работающие на протоколах VIP, OPC DA, Modbus TCP. Панель оператора позволяет корректировать настройки, задавать параметры и отслеживать текущий статус работы, а человеко-машинный интерфейс — отслеживать в реальном времени текущие показания по толщине, просматривать

графики измерений, проводить диагностику для выявления сбоев в работе и выполнять сервисные работы, включая, калибровку, ручное управление и пр. Система является удобной, интуитивно понятной и эффективной.

Головка толщиномера устанавливается на держатель, который может поднимать и опускать ее в нужное положение для корректировки положения головки относительно прокатываемой полосы. Быстрое позиционирование, осуществляемое гидравлической системой, позволяет начать измерения практически мгновенно, как только будет натянута полоса. Такой подход позволяет свести до минимума непрокатанную обрезь концов полосы. Небольшие изменения в расстоянии между головкой толщиномера и полосой, связанные с изменением натяжения или скорости, корректируются автоматически.

Высокая степень интеграции и отличная производительность каждого компонента системы позволят производителям алюминиевого проката получать полосу в соответствии со строгими допусками по толщине в режиме 24/7 и низкими операционными расходами. Толщиномер MTG построенный по технологии PЕС в моноблочном исполнении производит точное измерение толщины полосы, а его качества, такие как независимость измерений от марки сплава, нечувствительность к условиям окружающей среды, низкие требования к безопасности и простота ввода в эксплуатацию позволят повысить производительность и выход годного при прокате полосы [2-4].

Благодаря новому режиму работы High-pass Mode толщиномера АВВ, производители будут иметь возможность контролировать отклонения толщины тонкого алюминиевого проката и использовать данные измерения в АСУ стана в режиме Feedforward, что в свою

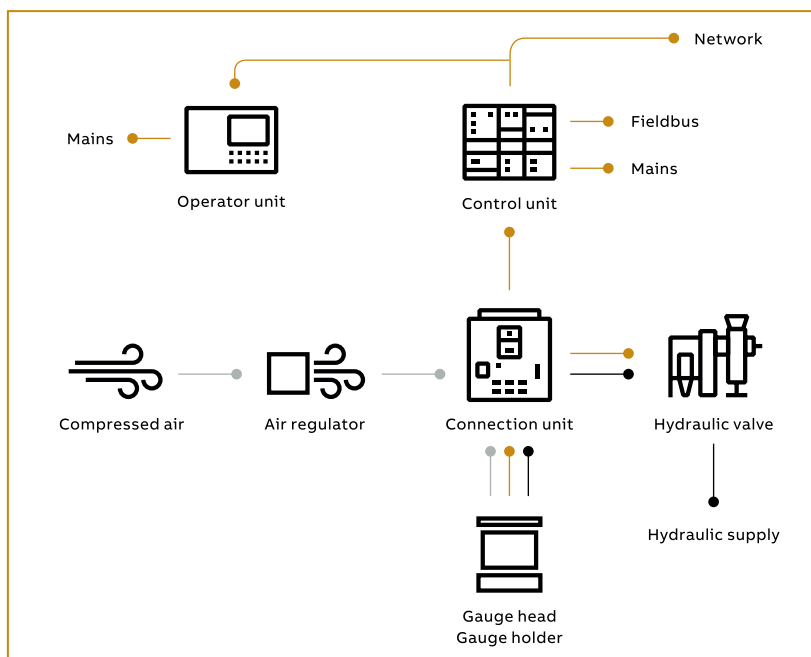


Рис. 6. Основные узлы толщиномера MTG

очередь позволит производителям работать с более жесткими допусками и откроет для них новые рынки сбыта.

Список литературы

1. Market Watch. What are the key market trends impacting the growth of the automotive lightweight material market? // Market Watch, July 16, 2020. Available: <https://www.marketwatch.com>. Accessed July 18, 2020.
2. <https://www.marketwatch.com>. Accessed July 18, 2020.
3. Thegel L. and Wadman E. Non-ferrous metal thickness gauges // ABB Review. 2017. 1. pp. 40–45.
4. ABB, Measure IT Pulsed Eddy Current technology: Operating Principle // Automation Technologies. 2004. 05. pp. 1–6.
5. ABB, Millmate thickness gauging systems; imagine outstanding dependability, ABB AB Industrial Automation, 2020, pp. 1-11. Available: www.abb.com/thicknessgauging

*Вадман Ева, Собель Ярл, Эйденвалл Андерс - Industrial Automation Measurement & Analytics ABB.
E-mail: eva.k.wadman@se.abb.com jarl.r.sobel@se.abb.com anders.eidenvall@se.abb.com*

Статья подготовлена по материалам Wadman E., Sobel J., Eidenvall A. Stretching the limits of Measurement // ABB review. 2021. №1.

Вкусная выпечка от роботов АВВ

Компания Delicato (Скандинавия) - производитель кондитерских изделий искала способ увеличить объем производства и его рентабельность, а также хотела автоматизировать монотонные производственные задачи, которые могли повлиять на здоровье и безопасность сотрудников.

Компания запланировала обновить производственную линию и снизить нагрузку на 150 сотрудников своей пекарни в г. Сегельторп и приняла решение инвестировать в четырех роботов IRB 360 FlexPicker компании АВВ, задача которых заключается в укладывании и упаковывании выпечки в виде шариков.

Роботизированное решение, созданное системным интегратором Evomatic, обеспечивает высокую точность захвата шариков Delicato с производственной линии и перемещения их в блистеры, не оказывая влияния на процесс производства, а затем перемещения их в упаковку. Поэтому конструкция захватов и программное обеспечение были важной частью решения.

Роботы FlexPicker, оснащенные системой технического зрения PickMaster компании АВВ, позволяют быстро снимать шарик Delicato с конвейерной ленты и помещать их в блистеры в очень высоком темпе. После этого шарик Delicato кладется в коробки, а те – в транспортную упаковку для отправки клиентам по всей стране.

Благодаря использованию роботов FlexPicker для сбора и упаковки кондитерских шариков затраты на персонал на производственной линии Delicato сократились примерно на 40%. Автоматизация процесса также упростила соблюдение высоких санитарно-гигиенических стандартов компании, одновременно предоставив гибкость для будущего расширения производственных мощностей. Кроме того, автоматизация монотонных задач на производственной линии шариков Delicato позволила снизить риск травм сотрудников.

[Http://www.abb.ru](http://www.abb.ru)