

# Интеграция процессов при прокатке ТОНКИХ АЛЮМИНИЕВЫХ ПОЛОС

При прокатке тонких полос процессы управления планшечностью и профилем поперечного сечения прокатываемой полосы взаимосвязаны. Поэтому, для получения высокого качества по геометрии конечного продукта в виде полос и листов требуется интегрированный подход к управлению между станами горячей и холодной прокатки.

Дэн Миллер\*

В последнее десятилетие, чтобы оставаться конкурентоспособным во всех секторах промышленности необходимо было поставлять продукцию с более жесткими допусками, точно в срок и снижать производственные затраты – это был единственный путь оставаться успешным в бизнесе. Такой подход к современному производству, в том числе и в алюминиевой промышленности, заставлял производителей с целью повышения эффективности производства фокусировать внимание отдельно на каждом производственном модуле, в изоляции от технологического потока. Такой подход укрепил сложившееся мнение, что отдельные ключевые параметры качества готовой продукции напрямую связаны со специфическими задачами производственного процесса. Например, регулирование поперечного профиля прокатываемой полосы – это проблема стана горячей прокатки, а регулирование плоскостности – проблема стана холодной прокатки.

Такой подход позволял получать заданные параметры продукта на каждом производственном модуле и переделе. Но без учета влияния профиля раската, полученного на предыдущем переделе, на условия проведения окончательных операций прокатки, нельзя было обеспечить оптимальное качество готовой продукции.

С точки зрения заказчика существует несколько основных параметров качества алюминиевых полос: своевременная поставка, механические свойства, отсутствие поверхностных дефектов, допуски по толщине, ширине и плоскостности. Принимаются в расчет и дополнительные факторы: эффективность работы производственных линий, внешний вид, понимание технических потребностей конечного пользователя и, конечно, стоимость.

## КОНТРОЛЬ ТОЛЩИНЫ

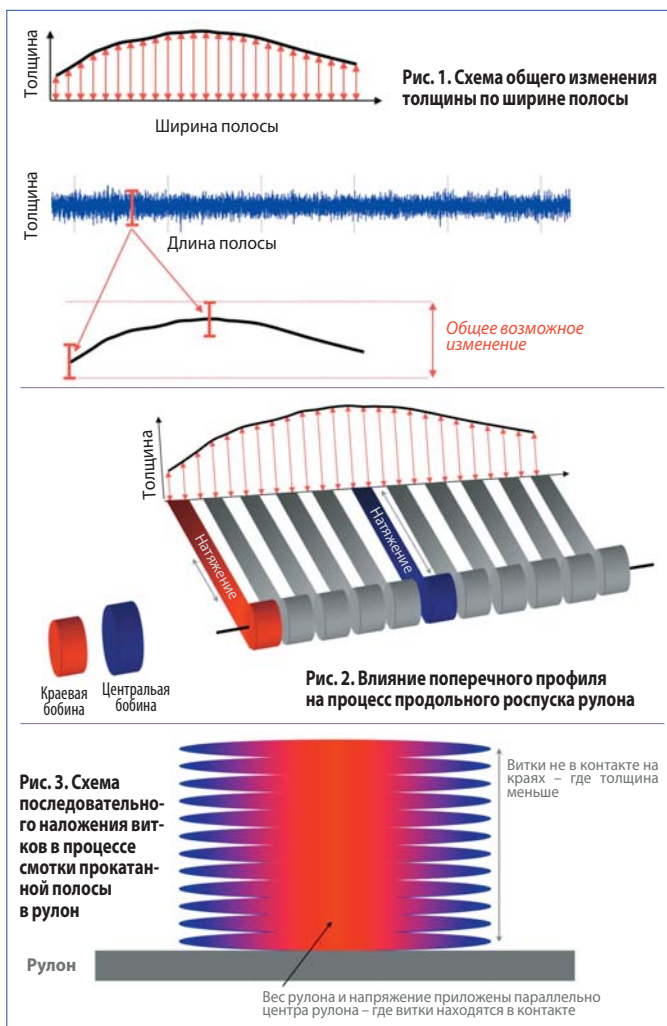
Толщина алюминиевой полосы при рулонном способе производства измеряется на выходе основных технологических агрегатов. Традиционно для этого используют рентгеновский толщиномер, выбранный за счет его быстродействия и низких помех. При правильной компенсации влияния окружающей среды, в которой работает датчик, и учете характеристик поглощения прокатываемого сплава, лучшие системы автоматического регулирования толщины (CAPT) обеспечивают

высокую точность (около 0,7 % среднего квадратичного отклонения от заданного значения толщины по всей длине полосы). Это, кажется хорошим показателем точности для многих видов продукции, но толщина – не является постоянной по ширине прокатываемой полосы. Изменения толщины по ширине определяют профиль поперечного сечения полосы, который часто характеризуют двумя параметрами: поперечной разнотолщиной (разность толщины между краями и центром) и клиновидностью (разность толщины по двум краям полосы).

## ВЛИЯНИЕ КОЛЕБАНИЙ ПРОФИЛЯ

При производстве многих видов изделий из алюминиевых полос, например, алюминиевых банок, необходимый материал может быть вырезан из любого места по ширине полосы. При этом, полная картина изменений толщины для конечного изготовителя банок должна складываться по двум направлениям измерения – по длине рулона и по ширине полосы (рис. 1). Таким образом, необходимо контролировать и регулировать толщину не только по длине рулона, но и учитывать изменения толщины по всей ширине полосы.

Влияние поперечного профиля наглядно проявляется при продольном роспуске тонкой алюминиевой полосы на множество узких лент. При наличии существенной разнотолщинности по ширине распускаемой полосы приемные бобины на выходной стороне системы роспуска будут



иметь различные диаметры, и поэтому на каждом барабане будет различное натяжение смотки. Это иллюстрирует рис. 2.

Бобины с низким уровнем натяжения могут рассыпаться, а при тесном расположении повредить соседние барабаны. Техническое решение этой проблемы заключается в использовании петлевых ям (для накопления излишней длины ленты) или натяжных устройств (для коррекции разности натяжения), которые ограниченно позволяют компенсировать колебания профиля.

Более тонко эффект влияния профиля может проявиться в изменении плоскостности при смотке полосы в рулон.

\* Dan Millerr. **Innoval Technology Ltd.** Beaumont Close, Banbury, Oxfordshire OX16 1TQ, UK. Tel.: +44 (0)1295 702800. Fax: +44 (0)1295 702898/9. E-mail: enquiries@innovaltec.com [www.innovaltec.com](http://www.innovaltec.com)

Поскольку слои накладываются друг на друга, то увеличенная толщина в центре (по сравнению с краями) приводит к повышенному натяжению наружных слоев центральной части полосы (рис. 3). Такие радиальные усилия вызывают различные внутренние напряжения в материале, которые могут привести к нарушению плоскостности полосы. Как показывают результаты математического моделирования, ключевыми факторами этого являются — профиль полосы, тип сплава и толщина полосы, температура полосы, натяжение при смотке.

## ПРИЧИНЫ КОЛЕБАНИЙ ПРОФИЛЯ

Процессы динамического регулирования поперечного профиля и плоскостности полосы подобны. Оба показателя формируются за счет различного обжатия полосы между вальками. В начале прокатки заготовка большой толщины проходит реверсивную клеть стана горячей прокатки с однородным поперечным сечением. Форма зазора между рабочими вальками зависит от множества факторов — изгиба валков под нагрузкой, исходной профилировки, термического профиля валков. Неоднородная форма межвалкового зазора приводит к неравномерному по ширине полосы обжатию. В этом случае может наблюдаться перекосное течение горячего материала. Прокатка с разными обжатиями и накопление напряжений по ширине приводят к изменениям толщины и формируют профиль прокатываемой полосы.

Поскольку материал с ростом степени обжатия становится все более тонким, то и поперечное смещение к краям полосы становится более ограниченным. Различия в напряжениях по ширине прокатываемой полосы уже не может компенсироваться за счет бокового сдвига материала. Если напряжения становятся достаточно высокими, они вызывают изгиб материала с потерей формы — такой дефект называют неплоскостностью.

При регулировании профиля полосы в процессе прокатки на практике существует относительно небольшой диапазон, когда изменение обжатий по ширине для регулирования поперечного профиля не вызывает потери плоскостности (рис. 4). При относительно большой толщине сляба, изменения межвалкового зазора поперек ширины раската малы по сравнению с общей толщиной, поэтому профиль полосы не сильно нарушается. По мере утонения полосы при прокатке, эффективность работы исполнительных механизмов для изменения межвалкового зазора в виде противоизгиба и регулируемого по ширине валков охлаждения существенно повышается (производимые ими изменения раствора валков становятся сопоставимыми с толщиной раската). Поэтому, при тонком раскате возрастает и вероятность потери формы прокатываемой полосы.

Таким образом, существует небольшой диапазон изменения поперечного профиля без нарушения формы тонкой полосы. При традиционной горячей прокатке алю-

миниевых полос на непрерывном стане этот диапазон приходится на средние клети непрерывной группы стана.

За последнее десятилетие количество механических исполнительных механизмов, установленных на станах для управления формой межвалкового зазора, существенно возросло. Шестивалковые клети с промежуточными вальками, которые могут перемещаться вдоль оси и изгибаться, уже не новинка. Профиль валька и его тепловое расширение в процессе горячей прокатки конечно зависят от сплава и ширины раската, но также и от программы прокатки. Для повышения производительности стана необходимы высокие обжатия, а они ведут к большим нагрузкам и отклонениям профиля валков, большой тепловой выпуклости валков. Механические последствия нагрузки управляемы и предсказуемы. Тепловые изменения можно моделировать, но ими очень трудно управлять, особенно при смене прокатываемого сортамента или после перевалки валков на стане. Они вероятно и вносят основной вклад в изменение профиля прокатываемой полосы.

Рис. 5 показывает изменения поперечного профиля (выпуклости) при изменении ширины полосы. Видно, что существует большой скачок разнотолщинности на переходе между двумя раскатами и для восстановления выпуклости до заданной величины требуется прокатать несколько рулонов. Значение выпуклости — приемлемый параметр для мониторинга профиля, но, как может быть замечено из рис. 6, это — не только разность между краями и центром полосы, но и полная форма профиля [10].

Управление профилем последовательно прокатываемых полос — теперь больше проблема обеспечения лучшей настройки клетей стана, чем управления индивидуальными исполнительными механизмами. Как и для любой системы управления, если настройка плохая или исполнительный меха-

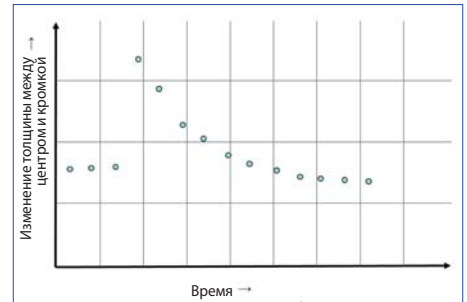


Рис. 4. Влияние толщины на способность изменения профиля и возможное появление прогиба полосы

низм перед началом работы далек от своего завершающего положения, то системе управления потребуется некоторое время, чтобы достичь конечного состояния, а это сопровождается существенными изменениями профиля проката. Сегодня акцент в управлении прокаткой смещается в сторону обеспечения хорошими моделями настройки и раннего распознавания любых отклонений или ограничений на перемещения исполнительных механизмов.

## РЕГУЛИРОВАНИЕ ПЛАНШЕТНОСТИ

Известно, что в конечном проходе холодной прокатки показатель плоскостности поступающей полосы весьма важен. Для регулирования формы полос здесь используются те же самые исполнительные механизмы, которые использовались для регулирования профиля полосы на стане горячей прокатки. Поэтому не удивительно, что их способность регулирова-



Рис. 5. Переходные значения выпуклости поперечного профиля и планшетности, вызванные изменениями по ширине полосы

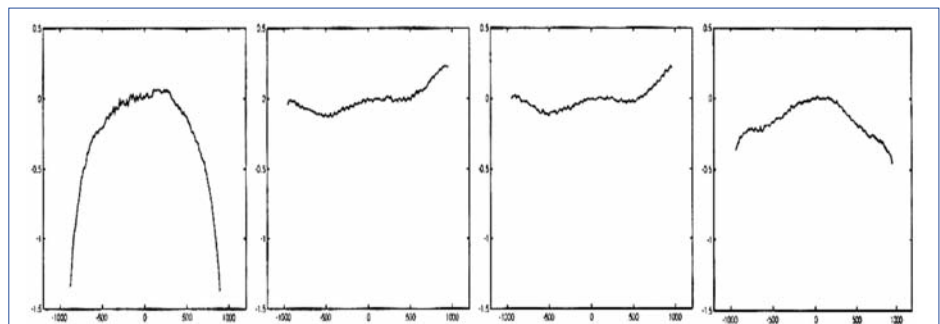
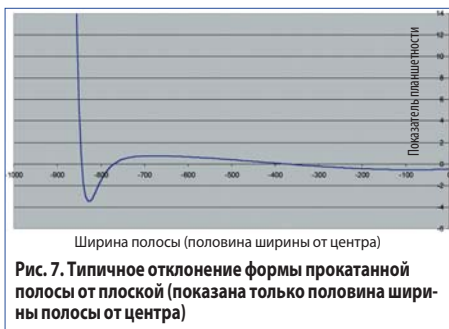


Рис. 6. Измеренные на стане профили полос при последовательной прокатке четырех слябов с переходом от твердого сплава к мягкому [10]



**Рис. 7. Типичное отклонение формы прокатанной полосы от плоской (показана только половина ширины полосы от центра)**

ния не ограничивает получение хорошей плоскостности. Самая трудная задача здесь — управление плоскостностью краевых участков полосы. Это становится все более и более трудным, поскольку полосы становятся все более тонкими и твердыми, прокатываются на повышенных скоростях. К сожалению, эти же факторы влияют и на уровень производительности прокатных станов. **Рис. 7** иллюстрирует типичное нарушение плоскостности, которое может наблюдаться в конечном проходе. Краевой участок полосы значительно утонен, а вблизи края результаты измерения утераны. На основной части ширины прокатываемого материала наблюдается хорошее соответствие цели управления.

Для улучшения положения на краях полосы при холодной прокатке пытались использовать дополнительные исполнительные механизмы (промежуточные валки или поперечное смещение валков) и многие механические исполнительные механизмы регулирования профиля. При этом главная проблема применения этих дополнительных механизмов для управления плоскостностью — перекрытие характеристик при их совместной работе. Это положение затрудняет выбор наилучшего исполнительного механизма для регулирования плоскостности в условиях их взаимовлияния при попытке исправить дефект плоскостности.

## МЕХАНИЗМ ТЕПЛОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Для решения этой задачи на станах холодной прокатки была использована методика, обычно применяемая при прокатке фольги. Это — подача нагретой жидкости в области краев прокатываемой полосы. Причина краевого утонения относительно основной части полосы — влияние резкого теплового градиента по краям рабочих валков. При передаче теплоты от деформации и трения к рабочим валкам по ширине прокатываемой полосы часть тепла проводится в осевом направлении к концевым участкам валка. Если температурный градиент на краях полосы превысит градиент, который может быть

исправлен за счет прогиба валков — возникает дефект, показанный на **рис. 7**. Подача горячей жидкости на валки вне ширины полосы смягчает этот эффект.

На новом стане холодной прокатки с полным диапазоном исполнительных механизмов такой дополнительный нагрев валков вблизи краевых участков полосы позволяет теперь получать плоскостность полосы в пределах технических требований клиента.

## ИНТЕГРИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ

Второй важный процесс при холодной прокатке — смотка готовой полосы в рулон. Как уже было показано выше, процесс смотки может влиять на плоскостность полосы. Плоская форма готового проката на выходе из стана холодной прокатки не обязательно сохранится плоской на конечном продукте у клиента. Для обеспечения высокого качества холоднокатаного проката у клиента нужно принимать во внимание изменения, которые могут с ним произойти при смотке. Применение такой интеграции процессов поддерживается взаимовлиянием поперечного профиля и формы полос.

Конечно, при производстве на стане или у клиента на плоскостность полосы могут влиять дальнейшие технологические операции. Они включают — операции изгиба или правки, неоднородного нагрева или резки материала. Иногда такие операции реализуют для улучшения плоскостности (например, при правке полос растяжением).

Таким образом, чтобы обеспечить выполнение всех предъявляемых требований к качеству готовой продукции, нужно принимать во внимание все потенциальные технологические операции и понимать их взаимозависимость. Без хорошего понимания — как различные стадии в производстве алюминия воздействуют на конечный продукт, нельзя гарантировать оптимального качества. Это понимание может прийти при анализе рекламаций и жалоб клиентов с целью получения ответа на вопрос — почему материал, который был почти совершенным на выходе из стана — либо не может работать, либо плохо подвергается обработке на предприятии клиента? Это же понимание может прийти при обучении на специальных курсах, которые покрывают все аспекты прокатки, например, таких которые проводит фирма Innoval Technology Ltd в Великобритании. **ATI**

### Список литературы

1. G. Boulton, T. Domanti, T. Gerber, G. Wallace. Strip edge shape control. Achieving profile & Flatness in Flat Products. IOM Conference, Birmingham. January 2006, pp. 57–64.

2. M. Cozijnsen, A. Dixon, WYD Yuen. Development of a shape model that includes edge spread for cold rolling. Steel Rolling 2006 Conference, Paris. June 2006. Session 11.
3. R. Dimitrou, R. Muzzolini, D. Bellot, J.P. Biboud. Thermomechanical modelling of coiling. Achieving profile & Flatness in Flat Products. IOM Conference, Birmingham. January 2006, pp. 22–26.
4. D.B. Miller, D. Nardini. Prediction of plastic strain during coiling of sheet. IoM Conference on The Control of Profile & Flatness, Birmingham, March 1996, pp. 225–240.
5. D.B. Miller, M. Thornton. Prediction of changes in flatness during coiling. 5th International Rolling Conference, London. September 1990, pp. 73–78.
6. D.T. Oliver. Off-line flatness problems in Aluminium Strip. 1st International Conference on Modelling of Metal Rolling Processes. London, September 1993.
7. D.B. Miller, H.R. Powers. Integrated set-up practices. IoM Conference on The Control of Profile & Flatness, Birmingham. March 1996, pp. 261–270.
8. D. Auzinger, G. Djumlija, T. Nijhuis at all. Application of Advanced Technology Packages for Improved Strip Profile and Flatness in Hot Strip Mills. Iron and Steelmaker. Sept 2003. Vol. 30, no 9, pp. 17–21.
9. R-M Guo, A. Malik. Development of New Crown/Shape Control Model for Cluster Mills. AISTech 2004: Iron and Steel Conference Proceedings. Volume I & II, pp. 43–51.
10. H-J. Herrmann, D. Czulay, U. Gorzny. New profile set-up and control strategy at Aluminium Norf hot strip mill No 2. Achieving profile & Flatness in Flat Products. IOM Conference, Birmingham, January 2006, pp. 95–99.
11. P. Montmitonnet. Comparison of profile prediction models for strip rolling. Achieving profile & Flatness in Flat Products. IOM Conference, Birmingham. January 2006, pp. 77–80.

## ▶ Окончание статьи со стр. 26

га при экструзии алюминиевых профилей, весьма важным показателем является абразивная устойчивость или сопротивление покрытия истиранию (износу) при высоких температурах. Для оценки устойчивости материала к износу был сконструирован и изготовлен прибор для проведения испытаний на высокотемпературное абразивное истирание, схема которого приведена на **рис. 4**. Нагретый до 500 °С рабочий элемент из латуни подводится к быстро вращающемуся образцу исследуемого материала и прижимали к нему с приложением нагрузки. Через фиксированные интервалы времени измеряли потерю массы каждого образца.

**Рис. 5** показывает более высокую стойкость к абразивному износу при повышенных температурах покрытия Zylon по сравнению с покрытием из смеси пара-арамидных/окисленных ПАН волокон. Как видно из полученного графика, материал Zylon показал высочайшее сопротивление абразивному истиранию при температуре 500 °С. Этот температурный диапазон точно соответствует температуре алюминиевых экструдированных продуктов на выходе из матрицы.

Покрытие из волокон Zylon не только исключает возможность образования дефектов в виде царапин и вмятин на поверхности экструдированных профилей на отводящих рольгангах и столах закалки, но также позволяет реализовать обширный круг инновационных решений для других сфер его применения в алюминиевой промышленности. **ATI**

Фирма Innoval Technology (Великобритания) регулярно проводит курсы Aluminium Rolling Technology по технологии горячей и холодной прокатки алюминиевых полос и листов. Курсы разработаны для инженеров и менеджеров прокатных цехов алюминиевых заводов и проводятся в течение пяти дней в г. Банбюри (Великобритания). Ближайшие курсы состоятся 12–16 ноября 2007 г. Вы можете получить подробную информацию посылкой запрос по E-mail: [chris.davenport@innovaltec.com](mailto:chris.davenport@innovaltec.com)