УДК 550.34.03.29

А.Н. Николаенко ⁽¹⁾, профессор, к.т.н.
Ю.П. Таран ⁽²⁾, инженер

ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ АЛЮМИНЕВОЙ ЗАГОТОВКИ НА ЛИТЕЙНО-ПРОКАТНОМ МОДУЛЕ

⁽¹⁾ Запорожская государственная инженерная академия,
⁽²⁾ ООО «Крок-ГТ»

Виконано моделювання швидкості руху заготовки на виході з ливарної машини та вході до прокатного стану залежно від її температури, коефіцієнтів тертя та витягання. Рекомендовано під час синхронізації електроприводів ливарно-прокатного модуля враховувати температуру заготовки, яка разом зі швидкістю колеса ливарної машини визначає початкову швидкість заготовки та суттєво впливає на коефіцієнт тертя та її швидкість на вході до прокатного стану.

Ключові слова: ливарно-прокатний модуль, заготовка, катанка, електропривод, вільний і блокований режими управління

Выполнено моделирование скорости движения заготовки на выходе из литейной машины и входе в прокатный стан в зависимости от ее температуры, коэффициентов трения и вытяжки. Рекомендовано при синхронизации электроприводов литейно-прокатного модуля учитывать температуру заготовки, которая совместно со скоростью колеса литейной машины определяет начальную скорость заготовки и оказывает существенное влияние на коэффициент трения и ее скорость на входе в прокатный стан. Ключевые слова: литейно-прокатный модуль, заготовка, катанка, электропривод, свободный и блокированный режимы управления

There is modeled blank movement speed on an outlet from a casting mashine and inlet in a rolling mill depending on its temperature, coefficients of friction and rolling-out. At the synchronization of casting-rolling module drives it is recommended to take into account the blank temperature which, together with the speed of the casting mashine, determines the initial speed of the blank and significantly affects the friction factor and its speed at the inlet of the rolling mill.

Keywords: casting-renal module, blank, rolled wire, electrodrive, free and blocked control modes

Введение. Оборудование литейно-прокатного модуля (ЛПМ) для производства алюминиевой катанки можно разделить на три группы [1]:

- оборудование участка литья и подачи заготовки к прокатному стану;
- оборудование участка прокатки металла;
- оборудование участка закаливания катанки и укладки ее в бунты.

К первой группе относятся литейная машина, переднее тяговое устройство и летучие ножницы. Вторая группа объединяет рабочие клетки и механизмы, осуществляющие транспортировку металла по линии прокатного стана. Установка охлаждения и закалки металла, заднее тяговое устройство и моталки образуют третью группу оборудования.

Обязательным условием непрерывного литья и свободной прокатки алюминия является постоянство секундных объемов металла на всех участках технологической линии.

$$V_{заг1} \cdot F_{заг} = V_{заг2} \cdot F_{заг} = V_{кат} \cdot F_{кат} \quad (1)$$

где $V_{заг1}$, $V_{заг2}$ – скорость движения заготовки на выходе литейной машины и на входе в прокатный стан, соответственно; $V_{кат}$ – скорость движения катанки на выходе из прокатного стана; $F_{заг}$ – площадь сечения слитка после литья; $F_{кат}$ – площадь сечения катанки на выходе из прокатного стана.

На практике это требует синхронизации работы электроприводов всех механизмов литейно-прокатного модуля.

Для этого в машине непрерывного литья и прокатки катанки из алюминия и алюминиевых сплавов типа LY-1600 (КНР) предусмотрено два режима управления – свободный и блокированный [1].

В свободном режиме управления скорости отдельных узлов и агрегатов технологической линии задают с пультов управления литейщика (А), прокатчика (В) и намотчика (С) при помощи потенциометров. С пульта А отдельно регулируют скорости литейной машины, передних тяговых роликов и летучих ножниц, с пульта В регулируют скорость прокатного стана, а с пульта С отдельно регулируют скорости тяго-

вых роликов моталки, петлеобразователя, а также корзин 1 и 2.

В заблокированном режиме с пульта А сигналом от привода литейной машины определяют скорость переднего тянущего устройства, с пульта В устанавливают задание скорости электропривода прокатного стана от электропривода литейной машины и с пульта С поступает задание скорости на электропривод тягового устройства моталки от электропривода прокатного стана. Для реализации заблокированного режима управления применяют отдельные регуляторы скорости, установленные на каждом из трех пультов.

При реализации свободного режима управление каждой группой механизмов осуществляется самостоятельно, что позволяет вручную обеспечить синхронизацию работы электроприводов и поддерживать ее в процессе эксплуатации усилиями операторов.

При заблокированном режиме вся схема управления связана со скоростью литейной машины, которая, в свою очередь, зависит от скорости образования заготовки и определяет производительность литейно-прокатного модуля.

Однако исследования работы литейной машины и прокатного стана [2,3] показали, что постоянство секундных объемов металла на разных участках технологической линии зависит не только от слаженной работы электроприводов ЛПМ, но и от возмущений, которые оказывают существенное влияние на процесс формирования заготовки, как со стороны литейной машины, так и прокатного стана.

Постановка задачи. В связи с этим представляет интерес исследование влияния факторов литья и прокатки на скорость движения металла при производстве алюминиевой катанки.

Основная часть исследований. После поступления расплавленного алюминия в изложницу литейной машины происходит его кристаллизация под действием принудительного водяного охлаждения, которая сопровождается линейной усадкой металла. В результате этого скорость заготовки на выходе из изложницы $V_{заг1}$ определяется не только скоростью движения литейной машины $V_{лм}$, но и скоростью усадки металла $V_{ус}$:

$$V_{заг1} = V_{лм} - V_{ус} \quad (2)$$

Если скорость усадки металла $V_{ус}$ представить как

$$V_{ус} = \frac{\Delta \ell}{\tau}, \quad (3)$$

где $\Delta \ell$ – величина усадки металла на участке ℓ литейной машины от места начала кристаллизации алюминия до точки выхода заготовки из изложницы; $\Delta \ell = \ell \cdot c \cdot (T_1 - T_2)$ c , T_1 – температурный коэффициент линейного расширения и температура начала кристаллизации алюминия, соответственно; T_2 – температура заготовки на выходе из изложницы; τ – время оборота литейной машины на угол, ограниченный указанными температурными точками.

Тогда уравнение (2) для определения скорости заготовки на выходе из литейной машины принимает вид:

$$V_{заг1} = V_{лм} - \frac{\ell \cdot c \cdot (T_1 - T_2)}{\tau} = V_{лм} \cdot [1 - c \cdot (T_1 - T_2)], \quad (4)$$

где $\ell/\tau = V_{лм}$ – скорость литейной машины.

С другой стороны, скорость литейной машины можно записать как

$$V_{лм} = \frac{n_{лм} \cdot \pi \cdot D_{лм}}{60 i_{лм}}, \quad (5)$$

где $n_{лм}$ – скорость вращения электропривода литейной машины; $D_{лм}$ – диаметр литейной машины, $i_{лм}$ – коэффициент редукции привода литейной машины.

Тогда, уравнение (5) будет иметь вид:

$$V_{лм} = \frac{n_{лм} \cdot \pi \cdot D_{лм}}{60 i_{лм}} \cdot [1 - c \cdot (T_1 - T_2)]. \quad (6)$$

Из уравнения (5) следует, что при постоянной скорости вращения электропривода литейной машины скорость заготовки на выходе из изложницы тем меньше, чем больше разность температур $\Delta T = T_1 - T_2$. Принимая во внимание, что образование твердой кристаллической основы заготовки начинается при температуре $T_1 = 600$ °С, а ее температура на выходе из литейной машины, из-за нестабильности процесса теплопередачи, изменяется в пределах $T_2 = 450 \dots 530$ °С [2], скорость заготовки согласно уравнению (6) колеблется в пределах 0,18 %.

Известно [3], что заготовка на входе в прокатный стан двигается со скоростью:

$$V_{заг2} = \frac{V_{кат}}{\lambda}, \quad (7)$$

где $V_{кат}$ – скорость катанки за валками первой клетки; λ – коэффициент вытяжки; при этом скорость катанки за валками первой клетки $V_{кат}$ определяется как:

$$V_{кат} = V_в \cdot (1 + S_{он}), \quad (8)$$

где $V_в$ – скорость валков первой клетки, $S_{он}$ – опережение.

Тогда, используя формулу из работы [4]:

$$S_{он} = \gamma^2 \cdot \left(\frac{R}{h_{вых}} - 0,5 \right), \quad (9)$$

где γ – нейтральный угол; R – радиус валка; $h_{вых}$ – высота сечения заготовки за валками первой клетки, и, принимая во внимание, что значение нейтрального угла в зависимости от угла захвата α и угла трения β определяется по формуле [4]:

$$\gamma = 0,5 \alpha \cdot \left(1 - \frac{\alpha}{2\beta} \right), \quad (10)$$

можно представить уравнение скорости заготовки на входе в прокатный стан в виде:

$$V_{за2} = V_в \cdot (1 + S_{он}). \quad (11)$$

Из выражения (11) видно, что при неизменных значениях угла захвата α , радиуса валков R и высоты сечения заготовки за валками первой клетки $h_{вых}$, скорость ее на входе в прокатный стан зависит от величины коэффициента трения β .

Согласно работе [5], при $T/T_{пл} \geq 0,5$ зависимость коэффициента трения β от температуры металла можно аппроксимировать уравнением:

$$\beta = 0,6 \cdot k_v \cdot k_c \cdot k_{от} \cdot \left(1,07 - 0,73 \frac{T}{T_{пл}} \right), \quad (12)$$

где k_v , k_c , $k_{от}$ – коэффициенты, учитывающие влияние скорости прокатки, смазки, материала валков и полосы, а также состояние их поверхности; T – температура заготовки на входе в прокатный стан, а $T_{пл}$ – температура плавления алюминия.

Тогда при температуре плавления алюминия $T_{пл} = 660$ °С и колебаниях температуры заготовки на входе в стан в диапазоне 450...530 °С, величина коэффициента трения при прокатке, согласно формуле (12), изменяется на 15,7 %. При этом скорость заготовки на входе в прокатный стан, рассчитанная по формуле (11), увеличивается на 2,2 %.

С учетом зависимости (7) на такую же величину происходит увеличение скорости катанки на выходе из прокатного стана.

В соответствии с техническими характеристиками ЛПМ при производстве алюминиевой катанки допускаются колебания выходного сечения готовой продукции. В зависимости от диаметра они могут изменяться от $\pm 0,3$ до $\pm 0,5$ мм [1]. Объясняется это тем, что из-за непостоянства физических свойств металла, износа валков, «старения» смазки и других факторов изменяется коэффициент вытяжки λ , величина которого также оказывает влияние на скорость заготовки перед прокатным станом. Исследования на действующем литейно-прокатном модуле показали, что при изменениях коэффициента вытяжки в интервале от 32,8 до 31,83 скорость заготовки на входе в стан увеличивается почти на 3 %.

Выводы. Таким образом, при помощи моделирования скорости движения заготовки установлено, что при повышении ее температуры и уменьшении коэффициента вытяжки, вызванных нестабильностью процессов литья и прокатки, происходит увеличение скорости движения алюминиевой заготовки на всех участках технологической линии, от литейной машины до моталок. При этом, приращение скорости движения заготовки на входе в прокатный стан более чем в 10 раз превышает увеличение скорости заготовки на выходе из литейной машины. Это приводит к нарушению равенства секундных объемов металла, натяжению заготовки между литейной машиной и прокатным станом, а также пробуксовке валков, что вносит существенные возмущения в систему управления электроприводами литейно-прокатного модуля. В связи с этим при совершенствовании управления работой ЛПМ необходимо учитывать скорости заготовки на выходе литейного колеса и входе в прокатный стан.

Библиографический список

1. **Линия для непрерывного литья и прокатки алюминия** [Текст] / Техническое описание. Шанхайский научно-исследовательский электротехнический институт. – КНР. – 2008. – 40 с.

2. **Таран, Ю. П.** Исследование температурных деформаций заготовки при непрерывном литье алюминия [Текст] / Ю. П. Таран, А. Н. Николаенко // Металургія : наукові праці Запорізької державної інженерної академії. – Запоріжжя : ЗДІА, 2007. – Вип. 16. – С. 139-144. – Библиогр.: с. 144.
3. **Таран, Ю. П.** Исследования влияния работы прокатного стана на формирование заготовки при непрерывном литье алюминия [Текст] / Ю. П. Таран, А. Н. Николаенко // Металургія : наукові праці Запорізької державної інженерної академії. – Запоріжжя : ЗДІА, 2011. – Вип. 25. – С. 144-147. – Библиогр.: с. 147.
4. **Грудев, А. П.** Теория прокатки [Текст] / А. П. Грудев. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М. : Интермет Инжиниринг, 2001. – 280 с. – Библиография в конце каждого раздела. – 500 экз. – ISBN05-89594-067-6/
5. **Кривенцов, А. М.** Коэффициент трения при горячей, холодной и теплой прокатке цветных и чёрных металлов [Текст] / А. М. Кривенцов // Конструирование, расчёт и исследование прокатных станов : сб-ик научн. трудов. – М. : ВНИИМетмаш, 1987. – С. 76-82.

Стаття надійшла до редакції 14.05.2016 р.
Рецензент, проф. М.Ю. Пазюк

Текст даної статті знаходиться на сайті ЗДІА в розділі Наука
<http://www.zgia.zp.ua>