

УДК 621.771.2

В.И. БОЙКО, д-р техн. наук, проф., С.А. ДРОН, аспирант, А.Т. НЕЛЬГА, аспирант
Днепропетровский государственный технический университет

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ПРОКАТКИ С УЧЕТОМ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ТЕМПА

Время прокатки состоит суммы машинного времени главного привода и времени паузы по пропускам. Главным является режим обжатий, а следствием вытяжка полосы. Оптимальное распределение обжатий получено на основании решения задачи динамического программирования. Распределение нелинейное вначале большое, а потом меньше. Грубо, в первом приближении, это экспонента с постоянной времени. Условно можно выделить три режима.

В *первом* происходит значительное перемещение нажимного механизма. Путь определяется площадью под кривой изменения скорости (разгон, установившийся режим, торможение) и влияет на время перемещения. Время прокатки очень мало, а паузы велико. Работа нажимного устройства начинается тогда, когда до окончания процесса прокатки в текущем пропуске еще остается время.

Во *втором* эти составляющие примерно одинаковы и возможен минимум суммарных затрат за счет нелинейности.

В *третьем* периоде время прокатки значительно превышает время паузы, наблюдается рост суммарных затрат времени.

Путь перемещения верхнего вала это половина произведения времени перемещения на значение максимально достижимой скорости, определяемой ускорением и замедлением, при треугольном графике работы. При постоянных динамических параметрах получается нелинейная прямо-пропорциональная квадратичная зависимость между перемещением и временем. Поэтому время получается извлечением квадратного корня из произведения обжатия на постоянный коэффициент.

На современном этапе автоматизация систем управления производством является необходимой в связи с повышенными требованиями ко времени и качеству регулирования процессов и необходимостью контроля за выходными параметрами для их учета и получения при помощи этих данных бале качественной продукции.

Применительно к реверсивным станам универсального типа, характеризующимся большим числом контролируемых параметров и управляющих воздействий, высокой скоростью протекания технологического процесса, широким ассортиментом выпускаемого проката, а также, на основе требований, предъявляемых к прокатному стану, рациональный объем автоматизации целесообразно проводить на уровне создания АСУТП точной прокатки.

Созданная система управления точной прокаткой на универсальном стане ДМКД обеспечивает коррекцию положения верхнего вала на последний пропуск в функции измерения температуры и толщины проката в предпоследнем пропуске. Схема включает подсистему контроля отработки задания на перемещение нажимного механизма в чистовом проходе, упрощая управление регулирующим органом клетки за счет уменьшения избыточности информации.

Автоматизированная система обеспечивает выполнение обжатия в последнем пропуске в оптимальном режиме, способствует уменьшению разнотолщинности полос, улучшает условия труда оператора прокатного стана, а также снижает процент брака, который допускается по вине оператора.

Алгоритм определения начала торможения главного привода в текущем пропуске.

Потенциально возможный темп реверсивной прокатки переменный. Он имеет экстремальный характер. Максимальный темп возможен в середине процесса. Его обеспечение зависит от желания оператора и он вполне может его снизить, приблизив к равномерному. Обеспечение переменного темпа реверсивной прокатки на максимальном уровне, в большой мере зависит от выбора момента начала торможения и величины замедления, когда раскат еще обжимается прокатными вальками.

Выбор момента начала снижения максимальной установившейся скорости прокатки к заданной скорости выброса металла из валков зависит от условия, чтобы время, потраченное на возврат

слитка к валкам с другой стороны, не превышало времени перемещения нажимным устройством верхнего валка в соответствии с программой обжатий.

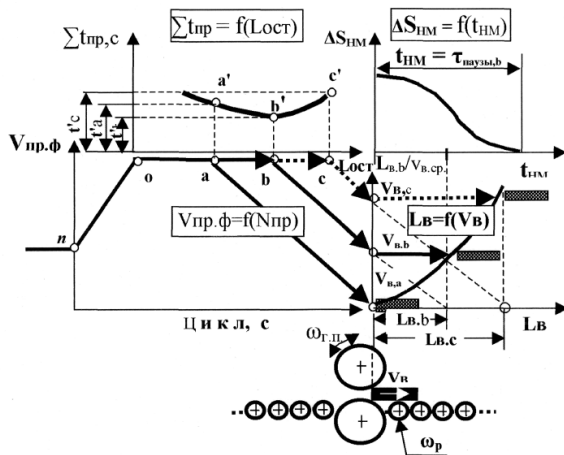


Рис. 1. Влияния момента торможения на скорость выброса раската из валков и время возврата к валкам

Произвольный выбор „переходной“ точки снижения скорости прокатки не будет способствовать обеспечению максимального темпа прокатки. Если момент перехода на снижение скорости выбрать раньше необходимой это приведет к уменьшению средней скорости, увеличению времени на прокатку и снижению темпа.

Переход с „опозданием“ увеличит скорость выброса, следовательно, кинетическую энергию массивного раската и приведет к увеличению расстояния выброса металла,

необходимого времени на возврат слитка к валкам и как следствие к увеличению длительности паузы и как следствие снижению темпа.

Скорость выбросов сначала примем естественной, пусть составляет $V_{\text{выб. опт}} = 0,4 \text{ м/с}$.

Скорость постоянной прокатки, которая является максимальной, равняется $v_{\text{макс}} = 2 \text{ м/с}$. Движение проката в фазе торможения ($a = 0,5 \text{ м/с}^2$). Тогда время $\tau_{\text{опт}}$, которое тратится с момента начала фазы торможения к моменту выброса

$$\tau_{\text{опт}} = (V_{\text{макс}} - V_{\text{выб. опт}}) / a = 1,6 / 0,5 = 3,2 \text{ с.}$$

Длина раската, который будет прокатан в дежурном пропуске, будет составлять 18м (рассчитанная в соответствии с величиной обжима на текущий пропуск и коэффициента удлинения).

Найдем, длину раската L_x , прокатенного после начала торможения к скорости $V_{\text{опт}} = 0,4 \text{ м/с}$ (к моменту выброса)

$$\begin{aligned} L_x &= V_{\text{ср}} \cdot \tau_{\text{опт}} \\ V_{\text{ср}} &= (V_{\text{макс}} + V_{\text{выб. опт}}) / 2 = 2,1 / 2 = 1,05 \text{ м/с}; \\ L_x &= 1,05 \cdot 3,2 = 3,36 \text{ м.} \end{aligned}$$

Тогда при прокатке металла, на его длине, которая равняется $L_r = L_{\text{зап}} - L_x = 18 - 3,36 = 14,64 \text{ м}$, необходимо переходить на прокатку в фазу торможения.

Информацию о длине прокатанного участка раскату получают во время прокатки путем интеграции угловой скорости главного двигателя.

Обратимся к определению скорости выбросов $V_{\text{выб.}}$.

Как было сказано, для ритмичной работы необходимо придерживаться условия совпадения длительности времени перемещения металла, который прокатывается и перестановки НМ в новую позицию, которая отвечает обжиму на дежурный пропуск.

Время, которое тратится на перемещение НМ на текущий пропуск, рассчитывается в соответствии с величиной обжатия металла программы прокатки сортамента, который обрабатывается, или выбирается из массива фиксированных средних значений времени перемещения механизма, натиска, которые отвечают этим обжатиям.

Определенное время перемещения НМ на заданный пропуск металла, принимается и как время, которое будет потрачено на выбросы раскату из валков и на его возвращение на следующий пропуск (принимается в равной судьбе со временем выбросов). Таким образом остается рассчитать скорость выбросов, исходя из указанного времени и расстояния, которое будет при этом пройдено раскатом. Ниже приведен расчет средней скорости перемещения металла, величина которой удовлетворяет определенное на это время и является отправной информацией для определения скорости выбросов.

Установлена эмпирическая связь между величиной паузы, определенной с момента выброса металла из валков до начала прокатки в очередном пропуске, и длиной перемещения металла во время паузы. Сам путь перемещения металла рассчитывался исходя из его средней скорости, в которой определяющим параметром является скорость выброса раската.

На основании уравнения зависимости скорости выброса V_B металла массой m и заданного пути $L_{зад}$, а также средней скорости его перемещения $V_{ср}$ до начала очередного пропуска, разработан алгоритм вычисления точки перехода прокатки металла у фазу выброса.

Связь между временем t_B перемещения раската и скоростью выброса V_B установлена на основании соответствующих физических закономерностей кинетики движения прокатываемого «тела».

Дифференциал работы двигателя главного привода равен

$$dA_{г.п} = d\left(\frac{mV_3^2}{2}\right) + d(FL_e) + dA_p,$$

где m - полная масса слитка; V_3 - мгновенная скорость слитка (в начальный момент выброса равна V_B)
 F - сила сопротивления движению слитка; L_B - пройденный слитком путь после его выброса из рабочих валков; dA_p - работа двигателя рольгангов

$$dA_p = d\left(\frac{mV_p^2}{2}\right) + d(FL_e)$$

где V_p - скорость рольгангов.

Сила сопротивления движению слитка, после его выброса из валков складывается в основном из силы трения в механизмах главного привода, привода рольгангов и силы трения о ролики рольгангов. Эти силы при скорости возможного выброса металла из валков $V_{выб} = 0,8-1,2$ м/с, как показали экспериментальные исследования, проведенные на реверсивном стане 1200 ДМК, незначительно (в пределах 5-7 %) отличаются друг от друга и для скорости выброса 1,0 м/с приняты равными в среднем $F = 0,18$ Н/кг (?).

Если учесть, что $dA_{г.п}/dt$ - мощность N главного привода, то получим дифференциальное уравнение вида

$$N_{г.п} = mV_3 \frac{dV_3}{dt} + mV_p \frac{dV_p}{dt} + F\left(\frac{L_B}{dt} + \frac{L_p}{dt}\right) = m\left(V_3 \frac{dV_3}{dt} + V_p \frac{dV_p}{dt}\right) + F\left(\frac{dL_B}{dt}\right)$$

Если принять $V_3 = V_p$, а $L_B = L_p$, то

$$N_{г.п} = 2mV_3 \frac{dV_3}{dt} + 2F \frac{dL_B}{dt}$$

Главный двигатель при выбросе отключен, а значит $N_{г.п} = 0$, тогда

$$0 = mV_3 \frac{dV_3}{dt} + F \frac{dL_B}{dt}$$

$$mV_3 \frac{dV_3}{dt} = -FV_3$$

Если проинтегрировать это уравнение, то мы получим зависимость скорости движения заготовки V_3 от времени t .

$$t = \int_{V_0}^0 \frac{mV_3 dV_3}{(-F)V_3}$$

Уравнение (5) позволяет определить время паузы, затрачиваемое на перемещение раската после его выброса из валков. Заметим, что масса раската и его скорость в уравнении (5) входят в подынтегральное выражение, поскольку в общем случае они могут рассматриваться как переменные. При $t = 0$ скорость заготовки при выбросе равняется V_B .

Интегрированием скорости по времени можно найти и путь, пройденный слитком за время выбега.

Предложенный алгоритм, основанный на использовании информации о массе прокатываемого слитка, скорости его выбега при выбросе из валков в пропуске, силе сопротивления (силе трения), позволяет расчетным путем найти оптимальную продолжительность паузы, которая реализуется оптимальным выбором точки перехода при прокатке в фазу выброса металла.

Управление процессом прокатки полос с оптимизацией фазы выброса раскатов повысило темп в цикле прокатки в среднем на 5 - 7%.

Рукопись поступила в редакцию 19.03.12