

УДК 621.774.35:62-539

Щербина Г.С., Коротченко В.Н., Олексюк О.В.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ТОЧНОСТЬЮ ПРОКАТКИ ГОРЯЧЕКАТАНЫХ ТРУБ

Рассмотрена задача стабилизации параметров технологического процесса производства горячекатаных труб с целью повышения точности толщины стенки за счет выбора рационального режима работы автоматической системы регулирования в условиях неполной информации.

Розглянута задача стабілізації параметрів технологічного процесу виробництва горячекатаных труб з метою підвищення точності товщини стінки за рахунок вибору раціонального режиму роботи автоматичної системи регулювання в умовах неповної інформації.

The assignment of technological process parameters stabilizing has been considered with the purpose of hot-rolled tubes walls thickness accuracy increase due to efficient operating conditions of regulatory systems within the framework of incomplete information

Введение

Наряду с совершенствованием оборудования, созданием новых и модернизацией существующих способов производства бесшовных горячекатаных труб важным резервом повышения их качества и снижения металлоемкости является автоматизация технологического процесса с целью повышения качества труб, одним из основных показателей которого является точность толщины стенки.

Проблема. В качестве показателя эффективности автоматической системы стабилизации толщины (АССТ) целесообразно использовать отношение компенсируемой при управлении дисперсии толщины и дисперсии последней при отсутствии управления.

$$\lambda = \frac{D_k}{D}, \quad (1)$$

где компенсируемая дисперсия $D_k = D - D_a$, т.е. разница между дисперсией без управления и дисперсией при наличии управления [1].

Очевидно, что этот показатель может принимать значения в пределах от нуля до единицы.

Известно, что точность труб, полученных на том или ином трубопрокатном агрегате (ТПА), в основном, определяется способом их производства, составом и техническим состоянием основного технологического оборудования, стабильностью технологического режима прокатки, распределением деформаций металла по станам агрегата и совершенством калибровки рабочего инструмента.

Анализ исследований. В работе [2] показано, что в суммарном диапазоне рассеивания значений толщины стенки партии готовых труб на агрегатах со станами продольной прокатки 30-40% занимает

поле колебаний средней толщины стенки, 25-30% - продольная разностенность, а остальное – поперечная. В данной работе приведены результаты исследования работы системы совместного регулирования средней толщины стенки и продольной разностенности.

Из работы [3] известно, что системы управления технологическими процессами должны быть системами управления по возмущению, т.к. строгое решение задачи инвариантности в системе регулирования по отклонению в общем случае невозможно. Вместе с тем, полностью инвариантные системы могут быть созданы на основе комбинированного способа регулирования. Однако, основной экономический эффект может быть получен за счет компенсации возмущений.

Для ряда ТПА были получены модели, позволяющие оценить возможную эффективность АССТ, выбрать ее структуру и алгоритм управления [4,5].

Однако, непосредственно экспериментальное изучение функционирования АССТ часто требует чрезмерно больших затрат средств и времени, а иногда и принципиально невозможно. Так, например, экспериментальное изучение функционирования автоматической системы невозможно до тех пор, пока система не создана и не изготовлена. Между тем, необходимо еще на стадии проектирования системы изучить все ее основные свойства, в частности эффективность ее функционирования в различных режимах с учетом всех действующих на нее случайных возмущений.

В таких случаях прибегают к статистическому моделированию.

Цель. Прокатный стан обычно относят к классу линейных моделей, т.к. при налаженном производстве возмущения изменяются в узком диапазоне. Этот класс моделей является относительно простым с точки зрения идентификации. Описание стана такой моделью базируется на предположении, что на ограниченных интервалах как пространственных, так и временных, условия стационарности и линейности выполняются. Кроме того, построение более сложных моделей не позволяет значительно повысить эффективность из-за высокого уровня помех [6].

Результаты исследований. Рассмотрим сначала задачу стабилизации средней толщины стенки труб. В этом случае процесс можно рассматривать как дискретный, а модель разностенности представить в виде:

$$\Delta y[N] = \sum_{i=1}^n \Delta x_i[N] b_i + \Delta y_z[N], \quad (2)$$

где $\Delta x_i[N]$ - значения контролируемых входов на N-ной трубе;

b_i - коэффициент регрессии i-го контролируемого возмущения на толщину;

$\Delta y_z[N]$ - аддитивная помеха с нулевым математическим ожиданием и дисперсией, определяющей тесноту связи между контролируруемыми возмущениями и выходной величиной.

Основными возмущениями на станах горячей прокатки являются колебание температуры и толщина подката.

В этом случае суммарная дисперсия толщины

$$\sigma_y^2 = \sigma_{y_x}^2 + \sigma_{y_z}^2 = b^2 \sigma_x^2 + \sigma_{y_z}^2, \quad (3)$$

где $\sigma_{y_x}^2$ - дисперсия, обусловленная контролируруемыми возмущениями;

$\sigma_{y_z}^2$ - дисперсия выхода, обусловленная помехами.

Оценка коэффициента корреляции

$$\hat{r} = \sqrt{1 - \sigma_{y_z}^2 / \sigma_y^2} = \sqrt{1 - \sigma_{y_z}^2 / (b^2 \sigma_x^2 + \sigma_{y_z}^2)}. \quad (4)$$

Откуда дисперсия помехи

$$\sigma_{y_z}^2 = b^2 \sigma_x^2 \left(1 - \hat{r}^2 \right) / \hat{r}^2. \quad (5)$$

Имитационное моделирование функционирования подсистемы стабилизации средней толщины стенки труб применительно к ТПА-140 в пакете Matlab/Simulink приведено на рис. 1. На этом агрегате основным возмущением является температура подката.

На основании априорной информации можно выбрать диапазон изменения контролируемого возмущения, существенно не влияющего на выход, поскольку уровень влияния помех соизмерим с влиянием контролируемой переменной, т.е. выбрать зону нечувствительности. При выборе этой зоны необходимо учитывать взаимосвязь эффективности управления со статистическими характеристиками контролируемых переменных.

Для определения вероятности попадания нормально распределенной случайной величины в интервал $(-\varepsilon, \varepsilon)$ воспользовались функцией Лапласа:

$$\varphi(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^u e^{-\frac{t^2}{2}} dt, \quad (6)$$

для которой составлены таблицы [7]. (Здесь $t = (\theta - m_\theta) / \sigma_\theta$).

При помощи функции Лапласа формула для симметричного интервала может быть представлена в виде:

$$P(|\Delta\theta| < \varepsilon) = 2\varphi\left(\frac{\varepsilon}{\sigma_\theta}\right). \quad (7)$$

Полагая в формуле (7) последовательно $\varepsilon = h\sigma_\theta, h = 0.2, 0.4, \dots, 2$, и пользуясь таблицей функций Лапласа [7], нашли зависимость вероят-

ности попадания отклонений температуры $P(|\Delta\theta| < \varepsilon)$ в заданный интервал (рис.2).

Затем, варьируя величиной зоны нечувствительности по температуре ($\delta\theta$), оценили дисперсию выходной толщины. В результате получили ее зависимость от величины зоны нечувствительности, показанную на рис. 2 .

При регулировании толщины проката в условиях помех, даже при незначительном отклонении любого возмущения, привод нажимных винтов приводится в действие. Таким образом, он практически непрерывно работает в режиме пуска-торможения, нажимные механизмы изнашиваются, а эффект от компенсации незначительных возмущений невелик.

Для того чтобы оценить взаимосвязь числа включений привода нажимных винтов с величиной зоны нечувствительности, необходимо определить вероятность попадания в симметричный относительно математического ожидания интервал $(\alpha = m_\theta - \varepsilon; \beta = m_\theta + \varepsilon)$. Так как управление ведется в отклонениях от текущего среднего значения температуры, то математическое ожидание возмущения равно нулю и, таким образом, необходимо определить вероятность попадания в интервал $(-\varepsilon, \varepsilon)$.

Выражение для нормальной одномерной плотности распределения температуры можно записать в виде

$$f(\theta) = \frac{1}{\sigma_\theta \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\theta - m_\theta)^2}{2\sigma_\theta^2}}, \quad (8)$$

или, с учетом $m_\theta = 0$,

$$f(\theta) = \frac{1}{\sigma_\theta \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\theta^2}{2\sigma_\theta^2}}. \quad (9)$$

Из анализа рис. 1 следует, что введение зоны нечувствительности $\delta\theta = 15 \div 20^\circ\text{C}$ практически не сказывается на дисперсии выходной толщины при работе системы управления. Анализируя результаты моделирования (см.рис.1) видим, что при введении зоны нечувствительности около 40% труб прокатываются при номинальном зазоре валков, т.е. привод нажимных винтов не приводится в действие. Это позволяет существенно уменьшить износ нажимного механизма и сократить расход электроэнергии, потребляемой системой.

Проведенное моделирование управления продольной разностенностью дало возможность сформулировать требования к гидравлическому приводу и показало, что для достаточной эффективности регулирования поджим по длине производится один раз, что позволяет снизить продольную разностенность в 1.3...1.7 раза.

Выводы

Проведенные исследования показали, что система автоматического регулирования средней толщины стенки уменьшает ее дисперсию на 35...65% и снижает вес труб на 3...5%.

Управление продольной разностенностью труб позволяет снизить поле допуска на 3...5%.

Статистическое моделирование функционирования системы управления средней толщиной стенки показало, что введение зоны нечувствительности уменьшает износ нажимного механизма и снижает расход электроэнергии, практически не снижая при этом эффективность управления, причем сравнение экспериментальных и теоретических результатов показало их соответствие.

ЛИТЕРАТУРА

1. Щербина Г.С., Коротченко В.Н. Алгоритм управления размерами проката. – Сучасні проблеми металургії. Наукові вісті. Том 8. Пластична деформація металів. Дніпропетровськ : „Системні технології”. – 2005 – с. 366-370.
2. Исследование точности труб ТПА-140 завода им. Ленина/В.Н. Данченко, А.Н. Чернышев, Е.Н. Панюшкин, В.Н. Коротченко и др. – Днепропетровск, 1981. – 16 с. – рук. представлена Днепропетр. металлург. инс-том, Деп. в ГРНТБ УкрНИИИТИ 13 июля 1981 г., № 2937.
3. Основы управления технологическими процессами / Под ред. Н.С. Райбмана. Главная редакция физико-математической литературы. – М.: Наука, 1978, 440 с., ил.
4. Разработка и исследование алгоритмов адаптивного управления точностью проката / Г.С. Щербина, А.Н. Чернышев, М.Д. Зинченко, В.Н. Коротченко. – В кн.: Разработка и внедрение АСУ в прокатном производстве: Тез. докл. Всесоюз. научно-техн. конф., М., 1983, с.23.
5. Разработка рациональной структуры автоматической стабилизации толщины сложных профилей проката / Г.С. Щербина, В.Н. Коротченко, М.Д. Зинченко и др. В кн.: Разработка и внедрение АСУ в прокатном производстве: Тез. докл. Всесоюз. научно-техн. конф., М., 1983, с.23-24.
6. Адаптивное управление точностью прокатки труб. Под общ. ред. Ф.А. Данилова и Н.С. Райбмана. – 3-е изд., перераб., - М.: Металлургия, 1980 – 278 с., ил.
7. Пугачев В.С. Теория вероятности и математическая статистика. – М.: Наука, 1979, 497 с., с ил.