

Определены классы ОУ, к которым эти методы применимы, как класс детерминированных и стохастических САУ. Обозначены обстоятельства, которые усложняют применение рассмотренных методов для построения грубых оптимальных систем, которые гарантированно устойчивы.

Это облегчит практическое применение методов АКОР для синтеза управления сложными многомерными технологическими ОУ в пищевой промышленности.

O. Lobok, B. Goncharenko, A. Slyezenko

Analysis of methods of analytical design optimal controllers for deterministic and stochastic multidimensional objects

Using methods AKOR, ie synthesis control, which provides optimal regulator to control the hardware multi-dimensional technological object control in the face of uncertainty there are some difficulties computational or methodological nature, which helps eliminate consideration specifics of objects.

The article deals with modern methods of automatic optimal control, namely AKOR or synthesis of optimal control. Defined classes of objects, to which these methods can be applied as a class of linear deterministic and stochastic SAH. The mentioned circumstances that complicate the application of methods for constructing rough AKOR optimal systems with guaranteed stability. This will facilitate the practical application of techniques to optimize process control in the food industry.

Одержано 20.09.12 р.

УДК 621.77.01

Н.В. Жукова, доц., канд. техн. наук, Р.І. Біндюг, магістр.

Донецький національний технічний університет

Етапи розробки САУ чорнової групи клітей в умовах енергозберігаючих технологій виробництва дрібного сорту

У статті розглянуто енергоємний технологічний процес дрібносортового виробництва, в якому поєднані два безперервні процесу лиття і прокатки. Суміщення процесів забезпечується за рахунок застосування агрегату з високим ступенем деформації за один прохід, а саме планетарних тривалкових гвинтових клітей. Процес поперечно-гвинтової прокатки розглянуто, як об'єкт управління. Розроблена функціональна схема дворівневої САУ електроприводами валків і корпуса планетарних клітей. Системи нижнього рівня мають змінну структуру управління з метою реалізації режимів суміщення процесів лиття і прокатки. Наведено приклад конкретного виконання запропонованого обладнання для умов роботи дротового стану 150 Макіївського металургійного заводу. Економічні розрахунки підтвердили економію енерговитрат в 5 разів.

поперечно-гвинтова прокатка, планетарна тривалкова кліть, координатор, енергозбереження

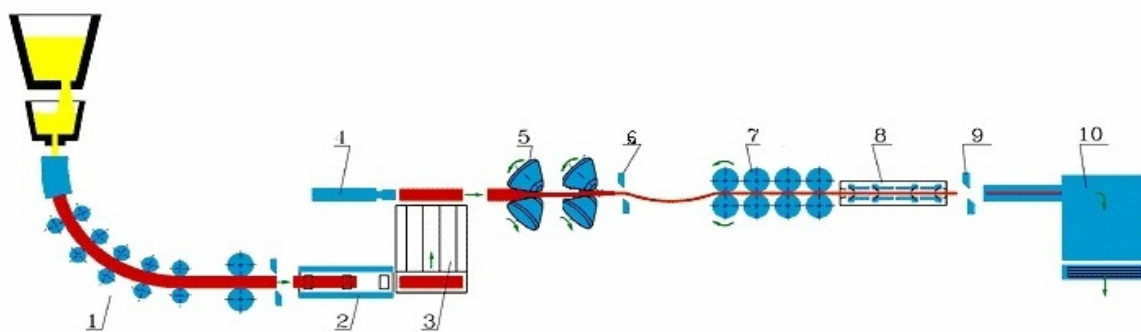
Останнім часом спостерігається тенденція розвитку металургійних міні-заводів, на яких реалізуються енергозберігаючі технології виробництва сталі і прокату. Чим швидше метал доходить від рідкого стану до кінцевого прокату, тим краще економічні показники енергоємного виробництва. Таким чином, економія енергії стає найважливішим фактором будь-якого металургійного виробництва.

Сучасне виробництво у прямому сенсі залежить від енергоспоживання, тому

чим менше витрати на енергоспоживання, - тим вище прибуток підприємства. Енергозбереження у металургії полягає в суміщенні процесів безперервного лиття та безперервної прокатки від рідкого металу, до кінцевого прокату. У даній технологічній схемі тепло рідкого металу не губиться, а використовується у подальших переділах після безперервного лиття. Тому сьогодні питання в проектуванні та впровадженні литейно-прокатних модулів є актуальним. Але незважаючи на високу вигоду використання технології литейно-прокатних агрегатів, розвиток в цій галузі отримали як правило тонкослябові литейно-прокатні агрегати. Практичне втілення цієї технології для дрібносортного виробництва і виробництва катанки не було виконано так популярно, через відсутність оптимальної конструкції клітей. Безперервна прокатка найоптимальніша, якщо основний обтиск металу здійснюватиметься у прокатних клітях, де максимальний витяг відбувається за один прохід в одній кліті. Цій умові задовольняє планетарна гвинтова кліть (ПГК), яка заміщує близько десяти клітей звичайної подовжньої прокатки та дозволяє безперервно стикувати подальшу чистову обробку металу. Тому, використання планетарних клітей гвинтової прокатки у чорновій групі і розробка багаторівневої ієрархічної системи автоматичного управління електроприводами планетарних гвинтових клітей чорнової групи, є актуальним.

Редукування поперечного перерізу матеріалу досягається на ПГК наступним чином: три конусоподібних валка, розташованих по відношенню один до одного під кутом 120° , обжимають метал таким чином, що між їх поверхнями утворюється конусоподібна зона деформації. Завдяки схрещеному положенню осей валків по відношенню до осі прокатки і їх обертанню, створюється зусилля подачі, направляюче метал через зону деформації. Валки приводяться в дію від двигуна за допомогою планетарної передачі. Осі валків можуть повертатися навколо осей планетарних шестерень або осей барабанів, в яких встановлені валки, з метою утворення необхідної найкоротшої відстані між осями прокатки і валків, що забезпечує відповідне зусилля подачі матеріалу вздовж осі прокатки. Другий двигун служить для запобігання обертання прокату, яке виникає за рахунок поперечного руху металу, скомпенсоване обертанням корпусу кліті.

Розглянемо структурну технологічну схему поєднаного модуля безперервного лиття та безперервної прокатки для виробництва дрібного сорту зображена на рис. 1.



1 – машина безперервного лиття заготівлі (МБЛЗ); 2 – індукційний підігрівач; 3 – загрузочна решітка; 4 – штовхатель; 5 – планетарна кліть поперечно-гвинтової прокатки; 6 – аварійні летючі ножичі; 7 – чистова група клітей; 8 – пристрій для термозміцнення; 9 – різник для мірних довжин; 10 – готові бунти з дротом

Рисунок 1 – Литейно-прокатний агрегат дрібносортного виробництва

Прокатка заготівлі без її обертання на виході із кліті здійснюється при визначеному початковому співвідношенні частот приводу ввалків та приводу корпусу. В нашій ситуації, використовуються дві планетарні гвинтові кліті, тому обидва електроприводи клітей повинні працювати синхронно, щоб процес в одній кліті не

заважав процесу в іншій кліті. Усунення кута повороту заготівлі нас цікавить тільки на виході з другої кліті, тому що саме після неї відбувається стиківка з чистою групою клітей. Кут повороту заготівлі має бути обмеженим, контролюється за допомогою енкодера з ідентифікацією знаку його повороту. У зв'язку з тим, що технологічні параметри деформації металу неоднорідні, раскат повертатиметься з неоднорідною швидкістю. З точки зору технології, неконтрольований рух заготівлі навколо вісі прокатки є неприпустимим.

Для того, щоб забезпечити автоматизацію процесу планетарної поперечно-гвинтової прокатки, а також з'єднання безперервних технологій лиття та поздовжньої прокатки розглядається широкий спектр задач.

Розроблен технічний проект конструкції кліті гвинтової тривалкової планетарної консольної обтискної. Конструкція кліті відрізняється від попередніх тим, що вона розроблена на основі попереднього вибору оптимальних характерних параметрів гвинтової прокатки і трьох її кінематичних критеріїв. Тому необхідність у регулюванні кліті відпала, що значно спростило конструкцію кліті. Характерні геометричні параметри не треба змінювати або регулювати, їх оптимальні величини реалізуються на кліті консервативним чином за допомогою простого обладнання з найменшими витратами, що завжди прийнятно в виробничих умовах. Оптимізація параметрів обладнання виконана на базі нових ознак, підтверджених патентом України;

Особливої уваги вимагає система управління складними механізмами з двома електроприводами, пов'язаними одним робочим тілом, металом, який деформується з глибокою витяжкою і при цьому робоче тіло не повинно обертатися навколо осі прокатки, чим забезпечується безперервність технологічного процесу з попередніми і наступними переділами металу. У зв'язку з тим, що поперечний рух металу не виявити за допомогою якого-небудь датчика переміщення, так як робоче тіло, яке деформується в кліті, фізичним чином пролонговано, як вперед так і назад до інших технологічних переділів, то тут тільки регулятори швидкості валкового і корпусного механізмів кліті не допоможуть у вирішенні узгодження руху пов'язаного з ними електроприводу з двома силовими електродвигунами. Єдиним критерієм тут може бути мінімум витрати енергії на технологічні операції деформації металу при забезпеченні заданого поздовжнього руху робочого тіла. Тому локальні САУ клітями повинні бути із змінною структурою. Електроприводи повинні управлятися за потужностями при мінімальній їх сумі з оптимальним розподілом енергії на два електроприводу. У моделі повинна бути інформація по силі і моменту прокатки, відповідним чином спроектовані на валкову та корпусну механічні передачі з виникненням моменту сили реакції металу при його можливим скручуванні, яке може з'явитися при неузгодженому русі двох електроприводів валків і корпусу кліті. Тобто САУ повинна автоматичним образом швидко реагувати на «зайві» витрати енергії на додаткову деформацію скручування металу при заданому подовжньому його русі уздовж осі прокатки.

На основі цих вимог було побудовано функціональну схему баготорівневої ієрархічної САУ. В схемі присутній верхній рівень, у якості координатора, який вироблює задаючі впливи для локальних САУ клітей нижніх рівней. Координатор представлений у вигляді програми на базі звичайного ПК, підключеного до программованого логічного контролера. Локальні САУ – це блоки управління першою та другою клітями, та підключенні до них частотні перетворювачі з векторним керуванням, для асинхронних 3-фазних двигунів. Фізичним рівнем керують локальні САУ за допомогою сигналів управління. Схема баготорівневої САУ зображена на рис. 2.

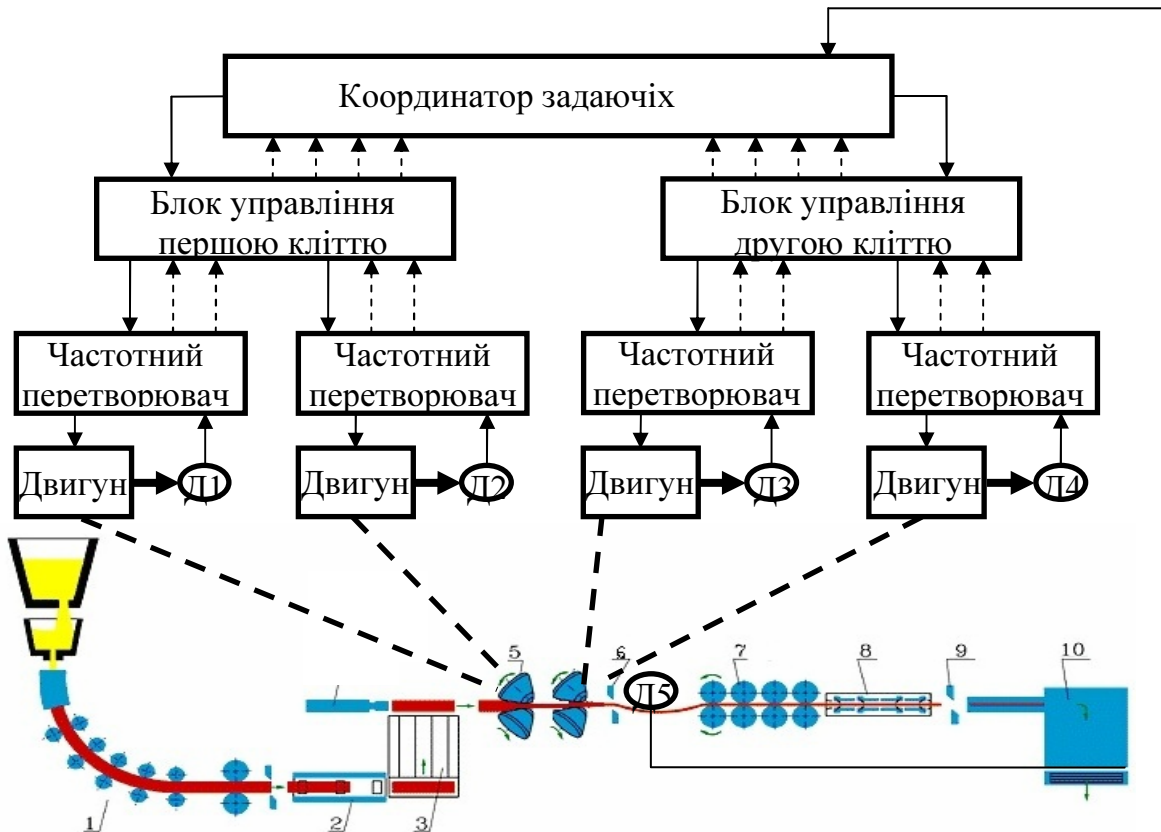


Рисунок 2 – Функціональна схема САУ

Д5 – вимірює кут повороту заготовлі на виході із другої кліти. На основі даних отриманих з Д5 та методу управління, координатор вирішує задаючі впливи для локальних САУ нижнього рівня. Управління фізичним рівнем здійснюється через ПЛК сигналами управління на частотні перетворювачі, які керують самими електродвигунами. Д1-Д4 фізично пов'язані з двигунами. Дані з енкодерів Д1-Д4 надходять на частотні перетворювачі, де за допомогою функції векторного керування розроховується електромеханічна потужність. З аналогових виходів частотних перетворювачів зчитуються показники швидкості обертання двигунів і електромеханічної потужності. Дані по усім двигунам надходять на верхній рівень управління у вигляді сигналів зворотнього зв'язку.

Приклад конкретного виконання пропонованого обладнання розглянемо для умов роботи дротового стану 150 Макіївського металургійного заводу. З метою економії енергії можна сполучити з безперервним розливанням круглої заготовки $\oplus 150\text{мм}$ дві планетарні гвинтові кліти із сумарною витяжкою

$$\mu = \left(\frac{150}{50}\right)^2 \cdot \left(\frac{50}{16.66}\right)^2 = 81. \text{ Ці кліти заміняють обтискну і дві проміжні групи клітей}$$

поздовжньої прокатки, що полягають із $17=9+4+4$ клітей згаданого стану 150, де

$$\text{відбувається чорновий обтиск металу із загальною витяжкою } \mu = \left(\frac{\otimes 150\text{мм}}{\otimes 17\text{мм}}\right)^2 = 78.$$

Далі в десятиклітьовому чистовому блоці, що чергуються із горизонтальних і вертикальних клітей поздовжньої прокатки із сумарною витяжкою 8 одиниць розкат приймає кінцеві розміри дроту $\oplus 6\text{мм}$.

Отже, після безперервного розливання гаряча кругла заготовка $\oplus 150\text{мм}$, проходячи через індукційний нагрів, де вирівнюється її температура, безупинно подається із середньою швидкістю $6 \frac{\text{м}}{\text{мин}} = 0,1 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ в першу планетарну гвинтову кліть. Її кут схрещування і найкоротша відстань між осями прокатки і валка відповідно рівні $\gamma = 30^\circ$, $d \approx 125\text{мм}$. Поздовжня швидкість входу заготовки в кліть узгоджується із швидкістю розливання, якщо швидкість обертання валків $f' = 0.319 \frac{\text{об}}{\text{с}}$. Метал

деформується з витяжкою $\mu = \left(\frac{r_0}{r_1}\right)^2 = \left(\frac{75}{25}\right)^2 = 9$ при схрещеному куті зони деформації $\beta = 6.606^\circ$.

Середній радіус зони деформації $r_{cp} = 50\text{мм}$; площа контакту металу і валка, як показує практика $S_{\text{конт}} \approx \frac{2\pi \cdot r_{cp} \cdot z_0}{6 \cdot 2} = \frac{2 \cdot 3.14 \cdot 50 \cdot 610.6}{6 \cdot 2} = 15985 \text{ мм}^2$; границя текучості гарячого металу $\sigma_T = 100 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$; сила прокатки $F = \sigma_T \cdot S_{\text{конт}} = 100 \cdot 15985 = 1598500\text{Н} \approx 1600\text{кН}$; середній радіус валка $r'_{cp} = \frac{r'_1 + r'_2}{2} = \frac{100 + 264}{2} = 182\text{мм} = 0,182\text{м}$; коефіцієнт тертя $f_{TP} = 0,3$; момент прокатки (навантаження) $M_H = 87.36\text{кН} \cdot \text{м}$. Момент навантаження, прикладений до деформуючого металу від трьох валків $M_{H,M} = 62.35\text{кН} \cdot \text{м}$.

Потужність прокатки на трьох валках $P_{PP} = 3 \cdot M_H \cdot \omega'$ при швидкості входу заготовки в кліть V_0 рівна $P_{PP} = 524,5\text{кВт}$. Потужність, прикладена до приводу ротора для зупинки обертання металу $P_{BP} = 431,9\text{кВт}$

Частота обертання ротора і центрального колеса відповідно $\omega_p = 1,1 \frac{\text{об}}{\text{с}}$, $\omega_{\text{ц}} = 1,63 \frac{\text{об}}{\text{с}}$

Зовнішній редуктор з коефіцієнтом механічної передачі $i_k = 1.478$, з'єднаний із двигуном ротора, збільшує його обороти до $1,63 \frac{\text{об}}{\text{с}}$ з метою вирівнювання швидкості двох приводів.

На виході з першої кліті розкат діаметром $\oplus 50\text{мм}$ рухається із швидкістю $V_1 = V_0 \cdot \mu = 0.1 \cdot 9 = 0.9 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ і входить у другу планетарну гвинтову кліть, яка повністю геометрично подібна першій кліті в масштабі 1:3. Зона деформації другої кліті має початковий і кінцевий радіуси $r_0 = 25\text{мм}$, $r_1 = 8.33\text{мм}$. У другій кліті кут схрещування і найкоротша відстань між осями прокатки і валка відповідно рівні $\gamma = 30^\circ$, $d \approx 42\text{мм}$.

Частота обертання валків $f' = 8.63 \frac{\text{об}}{\text{с}}$. Метал деформується з витяжкою

$\mu = \left(\frac{r_0}{r_1}\right)^2 = \left(\frac{25}{8.33}\right)^2 = 9$ при схрещеному куті зони деформації $\beta = 6.606^\circ$. Середній

радіус зони деформації $r_{cp} = 16.7 \text{ мм}$, площа контакту металу і валка, як показує практика $S_{\text{конт}} \approx 1780 \text{ мм}^2$, границя текучості гарячого металу $\sigma_T = 100 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$, сила прокатки $F = 178 \text{ кН}$, середній радіус валка $r'_{cp} = \frac{r'_1 + r'_0}{2} = \frac{33.2 + 87.9}{2} = 60.6 \text{ мм} = 0,0606 \text{ м}$, коефіцієнт тертя $f_{TP} = 0,3$, момент прокатки (навантаження) $M_H = 3.24 \text{ кН} \cdot \text{м}$. Момент навантаження, прикладений до деформуючого металу від трьох валків $M_{H.M} = 3 \cdot \sigma_T \cdot S_{\text{конт}} \cdot f_{TP} \cdot r'_{cp} \cdot \cos \gamma = 3 \cdot 178 \cdot 0.3 \cdot 0.01666 \cdot 0.866 = 2.32 \text{ кН} \cdot \text{м}$. Потужність прокатки на трьох валках $P_{\text{пр}} = 3 \cdot M_H \cdot \omega'$ при швидкості входу заготовки в кліть $V_0 = \omega' c_d \sin \gamma$ рівна $P_{\text{пр}} = 526,87 \text{ кВт}$. Потужність, прикладена до приводу ротора для зупинки обертання металу $P_{\text{вр}} = 433,97 \text{ кВт}$. Частота обертання ротора і центрального колеса відповідно $\omega_p = 29,76 \frac{\text{об}}{\text{с}}$; $\omega_{\text{ц}} = 44 \frac{\text{об}}{\text{с}}$. Зовнішній редуктор з коефіцієнтом механічної передачі $i_K = 1.478$, з'єднаний із двигуном ротора, вирівнює його обороти із двигуном центрального колеса $29.76 \cdot 1.478 = 44 \frac{\text{об}}{\text{с}}$.

Із практики відомо, що на стані 150 Макіївського металургійного заводу чорнова обробка металу в 17-ті клітях проводиться встановленою потужністю електроприводів на один струмок близько 10 Мвт , що в п'ять раз більше пропонованої технології обтиску металу на двох гвинтових клітях. Докажемо цей факт розрахунками.

Витрати на електроенергію визначаємо за формулою:

$$C_e = a \cdot W_{\text{акт}}, \quad (1)$$

де C_e - річні витрати на використану електроенергію, грн. на рік;

a - одноставочний тариф за 1 кВт на годину використаної енергії, для підприємств складає $a=0,82$ грн./кВт·год.;

$W_{\text{акт}}$ - активна енергія, яка використана за рік, кВт·год на рік.

Обсяг активної енергії знайдемо за формулою:

$$W_{\text{акт}} = \bar{P} \cdot N, \quad (2)$$

де \bar{P} - середня активна потужність, кВт;

N - кількість годин роботи в рік.

Енерговитрати, необхідні 17 клітям подовжньої прокатки на деформацію металу при виробництві катанки, складають $P=1490$ кВт. У 2011 році робочими є $t_{\text{роб}}=248$ днів. Робоча зміна триває $t_{\text{зм}}=10$ год. На підставі цих даних можна розрахувати, яку кількість електроенергії споживає чорнова група клітей подовжньої прокатки.

Кількість годин роботи на рік:

$$N = t_{\text{роб}} \cdot t_{\text{зм}} = 248 \cdot 10 = 2480 \frac{\text{год}}{\text{рік}} \quad (3)$$

Тоді обсяг активної енергії по (2) складе:

$$W_{\text{акт1}} = 11490 \cdot 10^3 \cdot 2480 = 28495,2 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{рік}}. \quad (4)$$

Витрати на енергоспоживання клітями подовжньої прокатки визначимо по (1):

$$C_{e1} = 0,82 \cdot 28,5 \cdot 10^6 = 23370000 \frac{\text{грн}}{\text{рік}} \quad (5)$$

Дві планетарні кліті ПГП споживають 2 МВт. Тоді річні витрати електроенергії модернізованої чорнової групи клітей складуть:

$$W_{акт2} = 2 \cdot 10^3 \cdot 2480 = 4,96 \cdot 10^6 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{рік}} \quad (6)$$

Витрати на електроенергію для двох клітей ПГП складають:

$$C_{e2} = 0,82 \cdot 4,96 \cdot 10^6 = 4067200 \frac{\text{грн}}{\text{рік}} \quad (7)$$

Річний економічний ефект від заміни устаткування розрахуємо як:

$$E = C_{e1} - C_{e2} = 23370000 - 4067200 = 19302800 \frac{\text{грн}}{\text{рік}} \quad (8)$$

Таким чином, за рахунок заміни клітей подовжньої прокатки двома планетарними клітями підприємство отримує економію витрат на електроенергію, яка дорівнює 19,3 млн. грн. на рік.

Висновки:

1. Сучасні тенденції розвитку енергозберігаючих технологій в металургії для міні-заводів літійно-прокатного виробництва, вимагають використання нових енергоємних, високопродуктивних методів, які поєднують безперервне лиття з оптимальною безперервною прокаткою, в якій обтиск металу відбувається з максимальною його деформацією за один прохід в одній кліті.

2. В умовах заміни звичайних клітей поздовжньої прокатки на планетарні гвинтові кліті, можна домогтися максимальної деформації металу за прохід в одній кліті. Таким чином одна або дві планетарних гвинтових клітей замінять всі кліті звичайної поздовжньої прокатки чорнової групи.

3. Процес поперечно-гвинтової прокатки у кліті планетарного виконання реалізується через багаторівневу САУ електропривідами валків та корпусу кліті. Єдиним критерієм управління тут може бути мінімум витрати енергії на технологічні операції деформації металу при забезпеченні заданого поздовжнього руху робочого тіла. Система управління повинна автоматичним образом швидко реагувати на «зайві» витрати енергії на додаткову деформацію скручування металу при заданому подовжньому його просуванні уздовж осі прокатки.

4. Розрахунок економічного ефекту від модернізації чорнової групи показав, що для заміни 17 клітей подовжньої прокатки досить лише 2 клітей поперечно-гвинтової прокатки. У результаті цієї заміни і впровадження розробленої САУ підприємство може отримати економію витрат на електроенергію, яка складе 83 відсотка.

Список літератури

1. Э. Бретшнейдер. Планетарно-косовалковый стан – агрегат высокомошной деформации для производства круглого материала и бесшовных труб. /СМС Шлоеманн – Германия
2. Сапожников А.Я., Кривенцов А.М. Мини-комплекс для производства мелкого сорта на основе совмещения винтовой и продольной прокатки - М.: АО "Черметинформация". - 2000. – С.314 - 315.
3. Сапожников А.Я. Мелкосортные станы конструкции ВНИИМЕТМАШ для мини-заводов // Сталь. - 1999. - №6. – С.61 - 62.
4. В.М. Паршин. Сооружение литейно-прокатных комплексов – решение проблемы производства конкурентно способной продукции // «Сталь», №6. 1999. – С.26-28.
5. Кліть тривалкова гвинтова консольна планетарна (Клеть трехвалковая винтовая планетарная). Патент на винахід №88522 /В.И. Литвинов, Н.В. Жукова и др.
6. Кліть гвинтова тривалкова консольна обтискна. (Клеть винтовая трехвалковая консольная обжимная). Заявка на винахід № а 2010 15624 от 24.12.2010 / В.И. Литвинов, Н.В. Жукова и др.

Н. Жукова, Р. Биндюг

Этапы разработки САУ черновой группы клетей в условиях энергосберегающих технологий производства мелкого сорта

В статье рассмотрен энергоемкий технологический процесс мелкосортного производства, в котором совмещены два непрерывных процесса литья и прокатки. Совмещение процессов обеспечивается за счет применения агрегата с высокой степенью деформации за один проход, а именно планетарных трёхвалковых винтовых клетей. Процесс поперечно-винтовой прокатки рассмотрен, как объект управления. Разработана функциональная схема двухуровневой САУ электроприводами валков и корпуса планетарных клетей. Системы нижнего уровня имеют переменную структуру управления с целью реализации режимов совмещения процессов литья и прокатки. Приведён пример конкретного исполнения предложенного оборудования для условий работы проволочного стана 150 Макеевского металлургического завода. Экономические расчёты подтвердили экономию энергозатрат в 5 раз.

N. Zhukova, R. Bindjug

Stages of developing ACS roughing stands in energy saving technologies for small class

In this article the energy-intensive process hoop production, which combines two continuous casting and rolling process. Combined process achieved through the use of the unit with a high degree of deformation in a single pass, namely helical planetary three-roll stands. The process of the helical rolling considered as an object of control. Developed a functional diagram of a two-tier ACS of electric rollers and planetary body stands. The lower level of the system are of variable structure control to implement modes of combination of casting and rolling. An example of a specific implementation of the proposed equipment to the working conditions of wire mill 150 Makeyevka Steel Plant. Economic calculations confirmed the energy savings of 5.

Одержано 14.09.12