

## التصميم بمساعدة الحاسوب وتحسين أداء خط إنتاج درفلة الحديد على الساخن

موريس حليبي\*

(تاريخ الإبداع 26 / 8 / 2014. قُبل للنشر في 20 / 4 / 2015)

### □ ملخص □

يقدم هذا البحث دراسة هدفها تحسين أداء آلة درفلة الحديد على الساخن ، وجعلها مطابقة للمواصفات الدولية حيث تشمل الدراسة مرحلتين: الأولى وتتضمن النمذجة الرياضية ومحاكاة آلة الدرفلة . أما المرحلة الثانية فتشمل تطوير واختبار نظم التحكم البديلة .

اختبرت صحة هذا النموذج من خلال تحليل منحنيات الأداء المستخلصة من محاكاتها ومقارنتها مع قيم منحنيات وجدول المحطة الحقيقية المأخوذة من HSRMP وذلك من خلال تضمين هذا النموذج لبارامترات النظام المميزة والمتغيرات الممثلة للأداء الحقيقي للمحطة ، هذا يجعل منه أداة مفيدة تتيح محاكاة أداء المحطة ، تفسير سلوك المتغيرات واختبار الحالات إضافة إلى إمكانية تغيير العمل واستراتيجيات التشغيل لتحسين التشغيل بشكل عام . من هذا النموذج أنجز التحليل المبدئي والذي أثبت إمكانية تحسين أداء المحطة بتنفيذ التعديلات التالية :

- تقليل قيمة الثابت التكاملي للنماذج المرتبطة بالحلقات المتوضعة في المرحلة الأخيرة
- توحيد كل نسب التغذية الراجعة للحلقات Fed back .
- نقل الدائر ليتوضع في المرحلة الأخيرة .

ملاحظة : إن الرمز HSRMP هو اختصار للعبارة Hot Strip Rolling Mill Plant وتعني معمل درفلة الحديد على الساخن .

الكلمات المفتاحية: محاكاة ، نمذجة ، درفلة ، منصة ، حساس ، حلقة .

\* مشرف على الأعمال - قسم هندسة القوى الميكانيكية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية .

## Computer Aided Design and Simulation of a Hot Strip Rolling Mill

Mouris Halabi\*

(Received 26 / 8 / 2014. Accepted 20 / 4 / 2015)

### □ ABSTRACT □

This paper presents a study aimed at improving the performance of the machine, hot steel rolling, and make them conform to international standards, where the study includes two phases: the first includes mathematical modeling and simulation programming language with a rolling machine. The second phase will include the development and testing of alternative control systems.

I tested the validity of this model through analyzes of performance curves derived from simulated and compared with the values of the curves and tables station real taken from the HSRMP. Through ensure this form to the parameters of the system characteristic variables representing the performance of the real station, this makes it a useful tool allows simulation of plant performance, explain the behavior of variables The test cases in addition to the possibility of change work and operating strategies to improve the overall operation. From this model performed the initial analysis, which proved the possibility of improving the performance of the station to implement the following modifications:

- Reduce the value of hard integrative models associated with the rings are positioned in the final stage.
- unification of all evil ratios for nutrition workshops.
- Revolving transfer is located in the last phase .

Note: HSRMP ( Hot strip rolling Mill plant ) .

**Key words** : Simulation , Modeling , Rolling mill , Stand , Sensor , Lopper .

---

\*Work Supervisor, mechanical power department , faculty of mechanical and electrical engineering , Tishreen University , Lattakia , Syria .

**مقدمة:**

في البداية، طور النموذج الرياضي لنظام بسيط مؤلف من مستويين أساسيين وترس دودي واحد. يعد هذا النموذج نافعاً جداً لدراسة مشاكل التحكم الرئيسية الموجودة في اسطوانة درفلة الفولاذ . يتضمن النموذج النهائي مشاكل تصحيح السرعة بين المستويات . وقد طور النموذج الرياضي الذي يتضمن ديناميكية الأنظمة الكهربائية ، الميكانيكية وأنظمة التحكم . حيث يتضمن النظام: عمليات درفلة متغيرة ، سلسلة ديناميكية لنظام القيادة الرئيسي ذات استجابة عالية ، سلسلة تحسين أداء آلة درفلة الحديد على الساخن ، وجعلها مطابقة للمواصفات الدولية حيث تشمل الدراسة مرحلتين: الأولى وتتضمن النمذجة الرياضية ومحاكاة آلة الدرفلة . أما المرحلة الثانية فتشمل تطوير واختبار نظم التحكم البديلة .

يحقق هذا العمل أمرين هما

-التحقق من موثوقية نموذج آلة الدرفلة ، الأمر الذي يعد مفيداً لتحسين دراسات سلوك النظام واختبار استراتيجيات تحكم متنوعة.

-يقدم ثلاثة مقترحات لتحسين سلوك النظام .

-لغة البرمجة المستخدمة MATLAB.

**أهمية البحث وأهدافه:**

يهدف البحث إلى تقديم طريقة حديثة بمساعدة الحاسوب لتصميم وتنفيذ الحسابات المثلى للوصول الى نظام فائق الأداء يتيح إمكانية التنبؤ السريع لأية ظاهرة ديناميكية يتعرض لها خط الإنتاج.ومن هنا يكتسب التصميم بمؤازرة المحاكاة أهميته حيث يتيح إجراء تحليل السلوك الديناميكي للمنشأة في المراحل الأولية للتصميم وفقاً لقياسات تحديد الاجتهادات الناجمة عن العمليات الديناميكية ؛ وكذلك تقييم سلوك المنشأة في الحالات الاستثنائية ولاسيما الاهتزازات الناجمة عن عزم القتل .

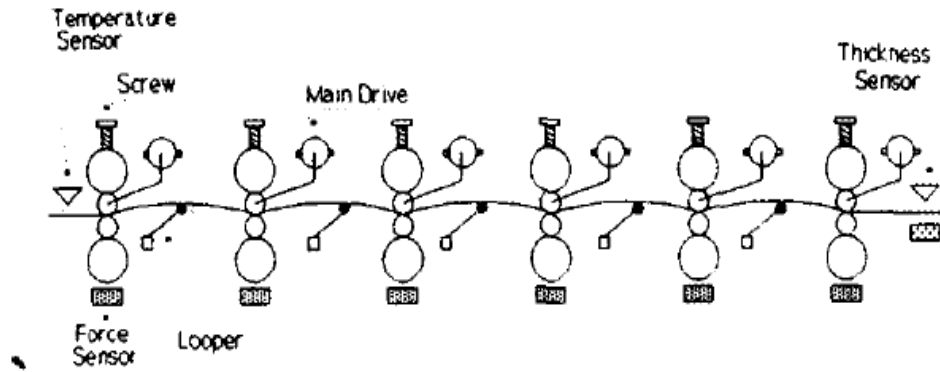
**طرائق البحث ومواده:****1. الوصف الموجز للمحطة**

يملك النظام ست منصات تمثل كل منصة مرحلة أو حلقة (الشكل 1) . تتجزأ أول ثلاث حلقات عملية تصحيح السرعة لأول ثلاث محركات تيار مستمر أساسية ، بينما أخر اثنتين يقومان بنفس المهمة لكن من أجل المحركين الرئيسيين الأخيرين. يبقى المحرك المستمر الرابع (#4) لا يخضع لأي تصحيح من أي حلقة ولهذا السبب يطلق على هذه المرحلة المطابقة اسم "pivot" . تتلائم سماكة الدرفلة مع (المراحل Stands) وتتنجز بما يسمى نظام التخفيض اللولبي الآلي . تدار اسطوانات الدرفلة بواسطة محركات تيار مستمر (محركات أساسية) حيث تضبط سرعتها بواسطة متحكمات مقابلة . ينفذ تصحيح النتائج بواسطة حلقات تعدل سرعة المحركات المستمرة المرجعية ، وتعمل الحلقات بواسطة محركات التيار المستمر المضبوطة .

يقاد اللولب الثابت بواسطة محركات مستمرة ، موقعها محكوم بموقع منظم السرعة . تكون المراحل مصقولة مع مقياس للإجهاد يعتمد على حساسات القوة . إلى جانب مقياس الحرارة المتوضع عند بداية الاسطوانة لقياس درجة حرارة الدرفلة فإنه يوجد حساس الثخانة (أشعة X ) المتوضع على اليمين بعد أخر مرحلة [1] .

## 2. نمذجة المحطة

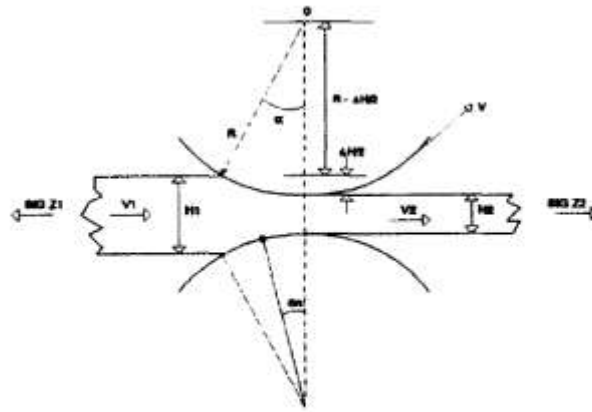
إن عمليات درفلة HSRMP هي أحد أنواع الدرفلة السطحية . ونقصد بالدرفلة السطحية تلك العمليات التي يتم من خلالها تقليل السماكة ، ونحصل بنتيجتها على مادة عرضها يفوق سماكتها عشر مرات على الأقل.



الشكل (1) يبين مكونات خط إنتاج بالدرفلة على الساخن

## 3. حسابات متغيرات عملية الدرفلة

يتم نمذجة المتغيرات المؤثرة على عمليات الدرفلة بعد انجاز العمل اعتمادا على النموذج الموضح في الشكل (2) حيث إن الموديل الرياضي المنمذج للحالة هو [2] .



الشكل (2) مخطط عملية الدرفلة

$$\alpha = \arccos[(R - \Delta H / 2) / R]$$

$$\Delta H = H1 - H2$$

$$\theta_n = (\Delta H / (4R))^{1/2} - (\Delta H / 4R) / \mu$$

$$\mu = P.55(1.05 - .0005 T)$$

$$V2 = V_c(1 + \theta_n^2(2R / H2 - 1))$$

$$V1 = V2 H2 / H1$$

$$VC = RW$$

$$PH = K S WI LA$$

$$LA = (R \Delta H)^{1/2}$$

$$MH = 2 KM LA PH + (SIGZ1 H1 - SIGZ2 H2) WI R$$

$$TC = \alpha / W$$

$$KM = .78 + .17(R / H1) - .163(R / H1)^{1/2}$$

$$S = \text{If } T < 900 \text{ } ^\circ\text{C then SI else SD}$$

$$SI = (-KI(T - 900) + B) \text{le } 6$$

$$SD = (-KD(T - 900) + B) \text{le } 6$$

$$B = BL(1 - e^{-B2V}) + B3V + B4$$

$$KD = K1D(1 - e^{-K2DV}) + K3DV + K4D$$

$$KI = K1I(1 - e^{-K2IV}) + K3IV + K4I$$

$$V = \Delta H / (H1 TC)$$

$$K = K1(1 - e^{-K2 XK}) + K3 XK + K4$$

$$XK = H2 / LA$$

حيث إن :

$\alpha$ : هي زاوية الاتصال بين الاسطوانات العاملة و الفولاذ المسحوب تقاس بالراديان (rad)

$\Delta H$ : هي الفارق بين سماكات الدخول والخرج لعملية الدرفلة

$H1$ : هي سماكة الدخول لعملية الدرفلة [m].

$H2$ : سماكة الخرج لعملية الدرفلة [m].

$\theta_n$ : الزاوية التي تساوي فيها سرعة الدرفلة مع الاسطوانات العاملة [rad].

$R$ : نصف قطر الاسطوانة العاملة [m].

$W$ : السرعة الزاوية للاسطوانة العاملة [rad/s].

$\mu$ : معامل النسبة بين الدرفلة والاسطوانات العاملة.

$T$ : درجة حرارة الدرفلة  $^\circ\text{C}$

$P$ : معمل يعتمد على سرعة الاسطوانات العاملة [m/s].

$V2$ : سرعة خروج المادة المدرفلة عندما تصبح خارج الثابت [m/s].

$V1$ : سرعة دخول المادة المدرفلة عندما تصبح عند الثابت [m/s].

$VC$ : السرعة المماسية للاسطوانات العاملة [rad/s].

$PH$ : قوة الفصل بين الاسطوانات العاملة [N].

$K$ : معامل حساب  $PH$ . ويتراوح بين (1-2.57) و يأخذ في الحسبان النسبة (1-8.8) بين سماكة الخرج

$H2$  و مسقط قوس الاتصال. وهذا القوس ينتج عن تقريب المنحني المأخوذ من الشكل [3].

$LA$ : طول قوس الاتصال [m]

$MH$ : عزم الاضطراب المؤثر على الاسطوانات بسبب إجهاد الاسطوانة والإجهادات الحاصلة في الدرفلة

[Nm].

$SIGZ1$ : الإجهاد على الفولاذ المدرفل عند مدخل المرحلة

$SIGZ2$ : الإجهاد الحاصل على الفولاذ المدرفل عند مخرج المرحلة

$TC$ : زمن الاتصال بين نقطة على مادة الدرفلة والاسطوانة العاملة [s].

$KM$ : عامل ضروري فقط لحساب  $MH$ .

$S$ : قوة المادة المدرفلة المقابلة للإجهاد السطحي. ينتج هذا المتغير من مخطط IAS ويعوض بالمعادلات ،

ويعتمد على سرعة تشوه المادة المدرفلة (الإجهاد) ودرجة الحرارة الشكل [4] وتقاس بـ [N/m2].

$SI, SD, B, KD, KI, V$ : تعتبر معاملات لحساب  $S$

$XK$ : متحول يعبر عن  $K$ .

:  $K1, K2, K3, K4, K1D, K2D, K3D, K4D, K1I, K2I, K3I, K4I, B1, B2, B3, B4$ :

معاملات تستخدم في المعادلات من اجل  $S, K$ .

يصف الشكل [3] تغيرات المعامل  $K$  باعتبار أن:  $H1/(RH H)^{1/2}$

في الشكل [4] يمثل المنحني قوة مادة الدرفلة المقابلة للإجهاد السطحي ، باعتبار أن درجة الحرارة والسرعة

معلوماتين .

يمكن أن نحسب من المعادلات السابقة: قوة الانفصال لكل حالة . ويكون العزم اللازم للاسطوانات من أجل

درفلة المادة وأيضاً من اجل سرعات الدخول والخرج لمادة الدرفلة عند المراحل المختلفة . يمكن أن نحسب أيضاً سرعة

الاسطوانة و نصف القطر و إجهاد الدرفلة على كلا جانبي المرحلة ، بمعرفة خصائص الفولاذ المدرفل : الحجم ،

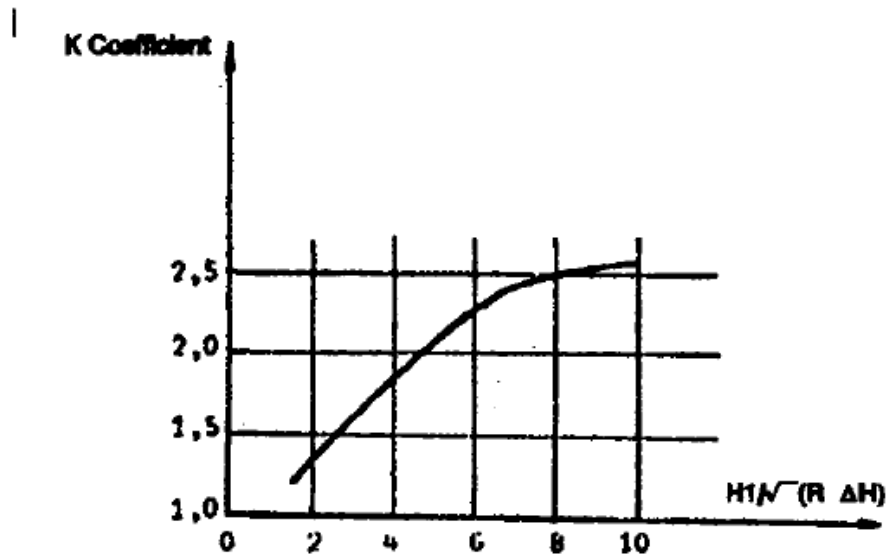
درجة الحرارة ، تناقص السماكة والقوة المقابلة للتشوه السطحي [4].

تعبير المادة المدرفلة سريعاً عبر الاسطوانات ونحصل عليها بعد فرض مرحلة تخفيض سرعة تمثل تزايد قوة

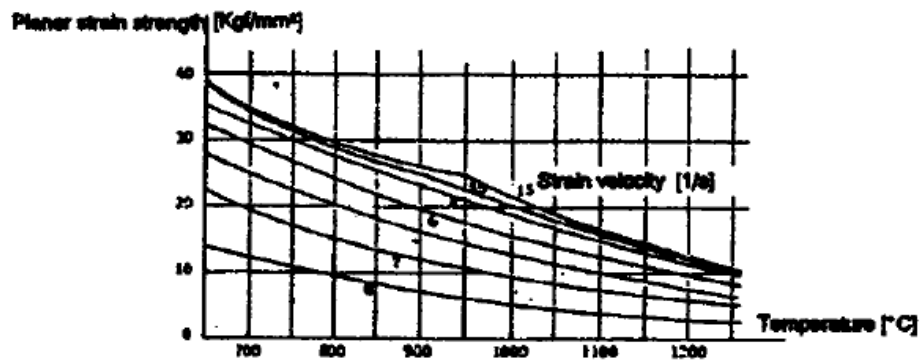
الفصل بين الاسطوانات ، إن  $TEN$  يمثل زمن جعل المادة على شكل قضبان ، ويحسب كمجموع زمن الاتصال  $TC$

مضافاً له نسبة طول الدرفلة الأمامي  $LLCH$  و السرعة المماسية للاسطوانة  $VTC$  حيث إن [5] :

$$TEN = TC + LLCH / VTC$$

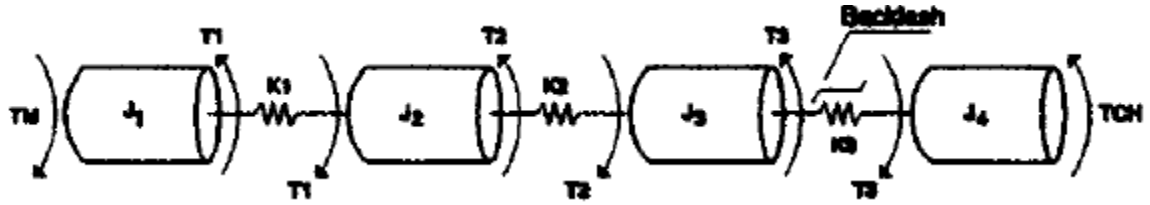
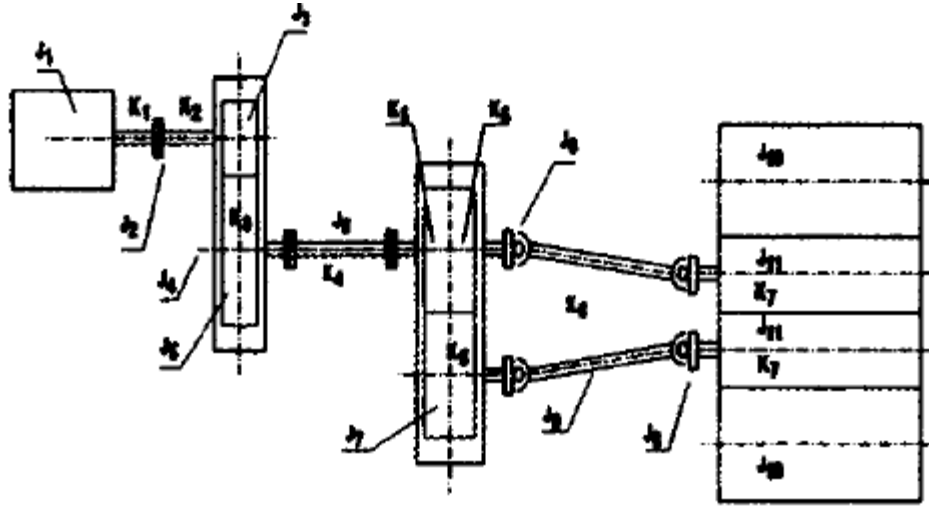


الشكل (3) مخطط K لحساب قوة الانفصال



الشكل (4) قوة الإجهاد السطحي بدرجة الحرارة و نسبة سرعة الإجهاد من اجل نوع الفولاذ المعطى

إن المسبب الرئيسي لعمل الاسطوانة (حركتها) هو نظام نقل الحركة من المحرك الى الاسطوانات الميبن في الشكل [5] حيث يتضمن هذا النظام نمذجة المحركات القائدة للاسطوانات مع منحنى حقل الإشباع.



الشكل (5) النموذج الميكانيكي الطولي مع أول مرحلتين مطابقين

ويتضمن نموذج السلسلة الديناميكية لربط المحركات مع الاسطوانات العاملة كلاً من معاملات الاحتكاك والمرونة، عزوم العطالة وردود الأفعال . يتغير هذا النموذج تبعاً للمرحلة الموجودة.

لاحظ أن التبسيطات المكافئة للنموذج الديناميكي أنجزت بفرض أن اسطوانة واحدة فقط هي من تقاد بدلاً من اسطوانتين. وهذا بسبب أن كلتا الحالتين المنمجتين لهما نتائج متطابقة. على كل حال، تبقى المحاكاة باستخدام اسطوانة واحدة أسرع وذات متغيرات معتبرة أقل.

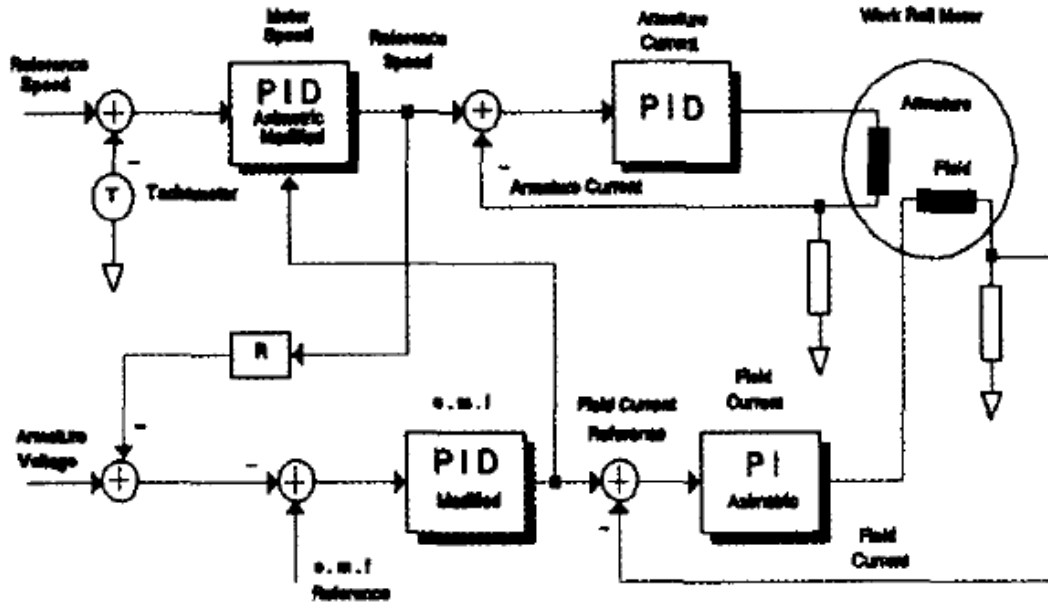
يبين الشكل [5] مخطط النموذج الميكانيكي الطولي مع التبسيطات المكافئة من أجل أول مسندين (ثابتين) .

إن ال للمسند تشير إلى عزوم العطالة و  $K_i$  للمسند ترمز إلى معامل المرونة [6] .



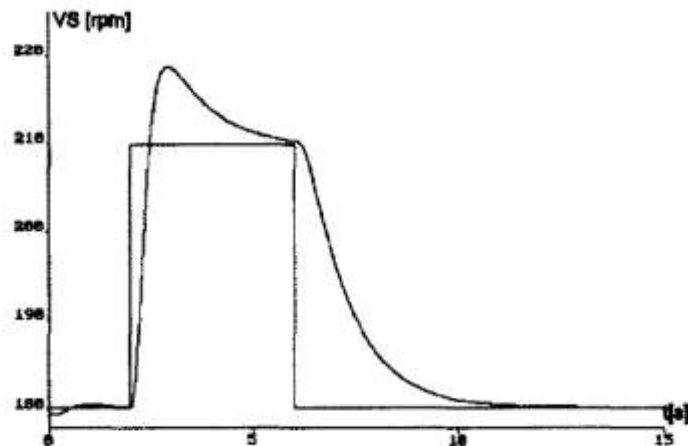
#### 4. نظام التحكم الرئيسي القائد

يظهر الشكل [6] المخطط الصندوقي من اجل متحكم حقيقي . وللمحاكاة ، تجهز الدارة المكافئة مع متحكم PI وقلتر من أجل تدرج الاستجابة المتغيرة . تملك الدارة المكافئة نتائج مطابقة لتلك التي نحصل عليها من المحطة ذات المتحكم الفعلي الحقيقي [7].



الشكل (6) المخطط الصندوقي لمنظومة التحكم بمشغلات DC الرئيسية

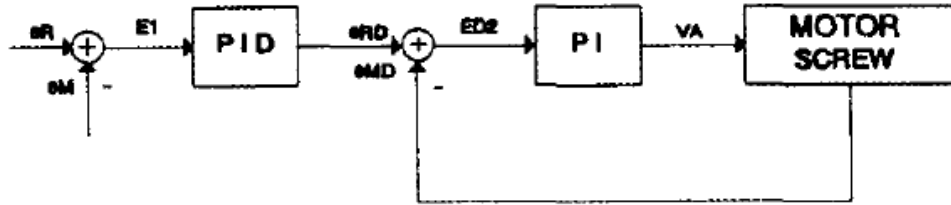
يظهر الشكل [7] سرعة محرك مباشر مقاسة بـ (rpm) مع مقياس خطوة دخل 10% متغير بدءاً من السرعة المرجعية . نحصل على هذا المنحني من عملية المحاكاة المطابقة لعمل المحطة الحقيقية . نلاحظ من هذا الشكل عدم تناسق الاستجابة .



الشكل (7) سرعة محرك ذو دخل خطوي

## 5. نظام التخفيض اللولبي

يتألف هذا النظام من نماذج لولاب كهربائية وميكانيكية، تماماً كما في وحدة التحكم، التي بدورها تتألف من منظمات سرعة مرتبة في مواقع معينة . من أجل المحاكاة ، فإن موقع المتحكم PID يرتب مع متحكم السرعة PI كما يلي [8]:



الشكل (8) نظام تحكم لمحركات اللولاب

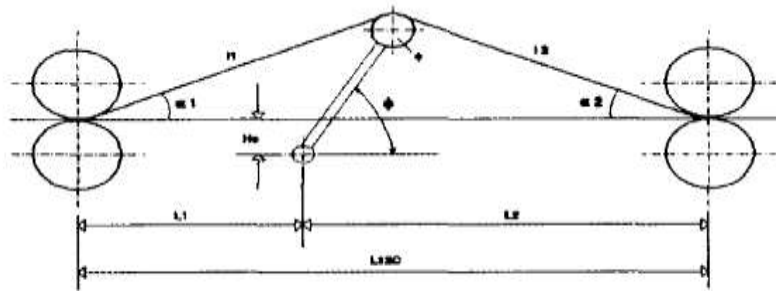
## 6. نمذجة النظام الحلقي

يظهر الشكل [8] نظام تحكم لمحركات اللولاب. والحلقة عبارة عن عنصر لتصحيح سرعة عمل الاسطوانات. يعتمد تأثر موقع المرحل فيها (سواء كانت قبلها أو بعدها مع عامل تصحيح يؤخذ كنسبة مئوية من السرعة) على معايير المرحلة الموجودة .

بالإضافة إلى المرونة، المحرك القائد ، بساطة المسند ومنظم استطاعة المحرك، فإنه يأخذ أيضاً بالحسبان عند النمذجة كلاً من جسم الحلقة ووزن ذراعها. يظهر الشكل [9] المخطط الهندسي للحلقة (المرحلة) بين مسندين. [10]

## نظام تصحيح السرعة :

تتناسب زاوية الحلقة بدورها مع الجهد . وهذا الجهد يساوي ما يوصله المنظم PID إلى الحلقة . إن نموذج المنظم PID قد زود بنفس معايير ومواصفات المنظم الحقيقي . وقد حصلنا على النموذج الحقيقي من خلال تحليل منحنيات استجابة محطة حقيقية . جهد الخرج لهذا النموذج يلائم السرعة المرجعية للمحرك الرئيسي والذي بدوره يسبب زيادة أو إنقاص سرعة الاسطوانات العاملة طبقاً لطول مادة الدرفلة [ 11 , 12 ] .



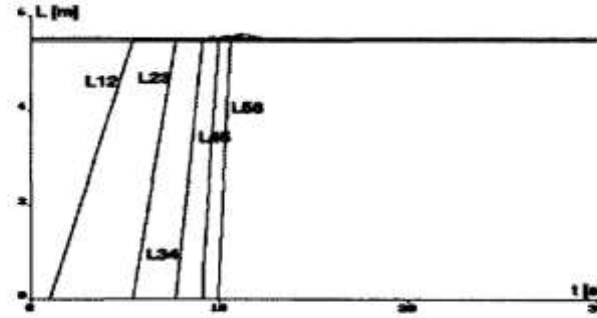
الشكل (9) المخطط الهندسي للحلقة (المرحلة) بين منصتين

## النتائج والمناقشة:

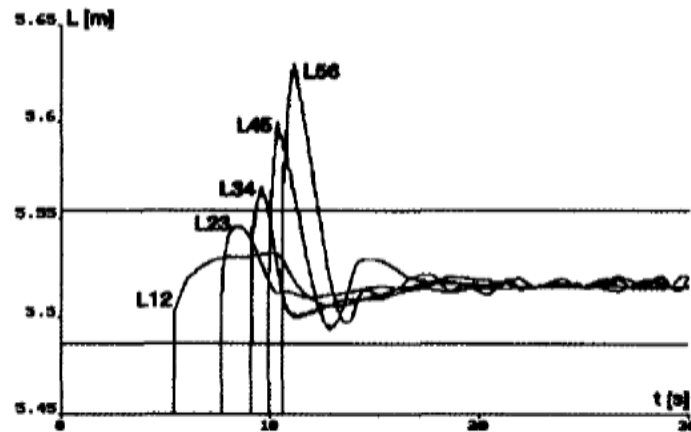
## المحاكاة

نفذت المحاكاة لتقييم سلوك المتغيرات الرئيسية المترابطة مع عملية الدرفلة من أجل ست حالات . من أجل محاكاة كامل المحطة ، فإن الاسطوانات العاملة تجهز طبقاً للبيانات التي نحصل عليها من HSRMP. نتيجة لذلك ، تكون قيم قوى الانفصال وعزوم التشوه التي نحصل عليها مطابقة للمحطة الحقيقية . تساعد هذه النتيجة في إثبات مصداقية النموذج بسبب أن المتغيرات المتداخلة للنموذج تكون مطابقة تماماً لنظيراتها في آلة الدرفلة الحقيقية .

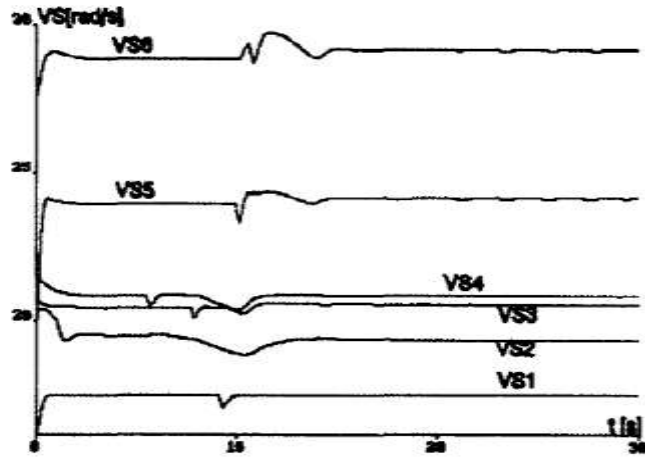
نحصل كذلك على نوعية ومقدار السلوك لهذا النموذج ، والذي يكون قريباً إلى حد معقول من ذلك الحقيقي . يظهر الشكل [10] المخطط الممثل لطول الدرفلة من أجل المراحل المتتالية . قمة الخط الأفقي العلوي تمثل طول الدرفلة من أجل أعظم قيمة ممكنة لزاوية الحلقة ، نظراً لأن كل حلقة تملك جهاز توقف ميكانيكي خاص بها . يمثل الخط الأفقي السفلي طول الدرفلة الأصغري ، والذي يفصل بين المراحل . لاحظ أن طول الدرفلة في المرحلة الأخيرة يتجاوز حده العلوي قيمة الـ 12 لكي نحافظ على درفلة طويلة . بعدها تبقى الدرفلة بين هذه الحدود .



الشكل (10) يبين المخطط الممثل لطول الدرفلة من أجل المراحل المتتالية

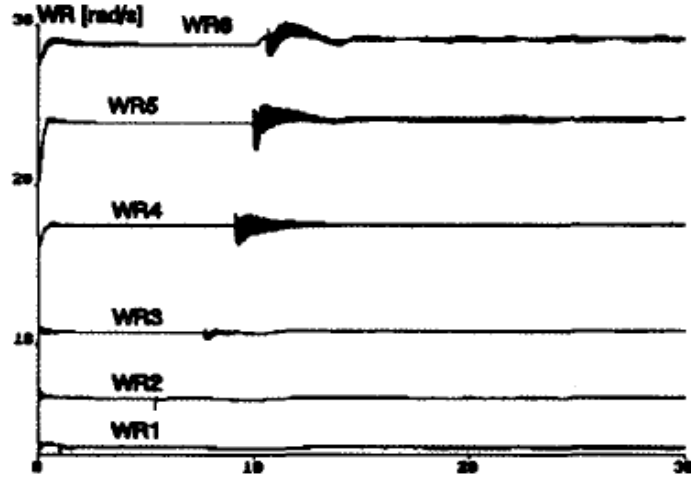


الشكل (11) يبين نفس المخطط لكن بمقياس أكبر

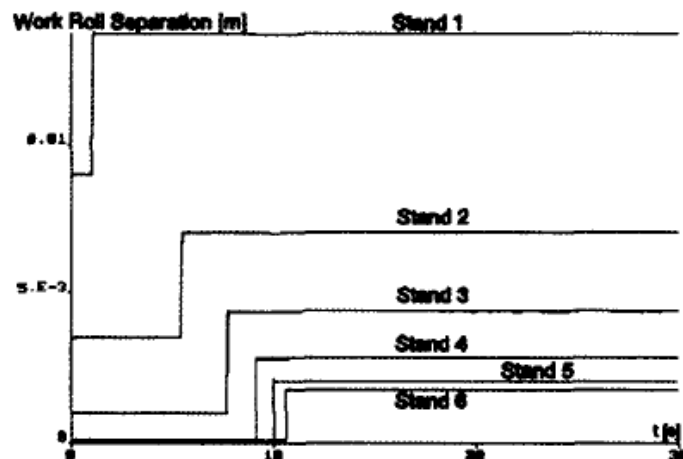


الشكل (12) يبين المخطط السرعة الزاوية للاسطوانة العاملة

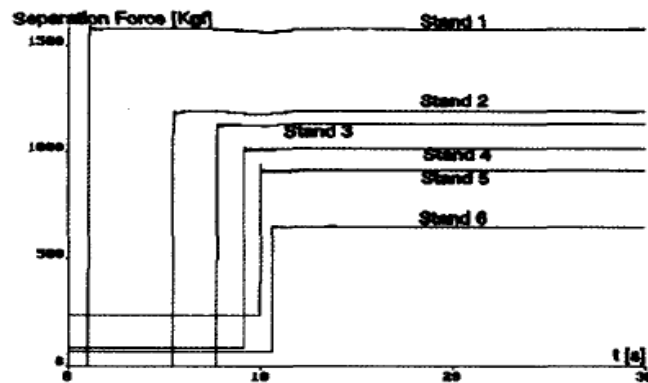
يظهر الشكل [11] نفس المخطط لكن بمقياس أكبر . في حين يظهر الشكل [12] السرعة الزاوية للاسطوانة العاملة (WR) . يلاحظ تأثير الرقائق المنكشطة على المراحل الستة ، إلى جانب رجحان المرحلة الأخيرة . تقارن هذه المنحنيات مع HSRMP الذي يمثل المنحني الحقيقي.



الشكل (13) يبين المخطط السرعة الزاوية للاسطوانات العاملة بدون تأثير فلتر مقياس سرعة الدوران

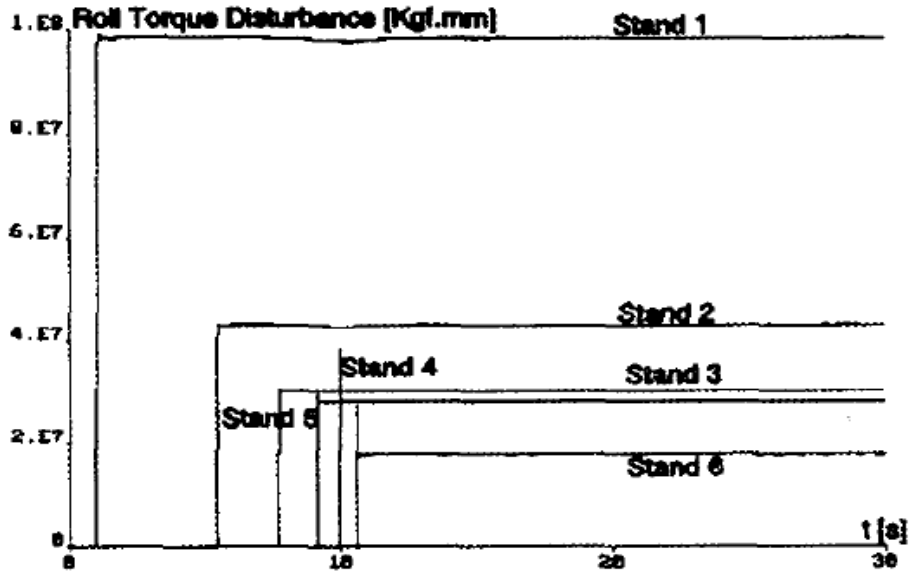


الشكل (14) يبين المخطط الفجوة بين الاسطوانات العاملة

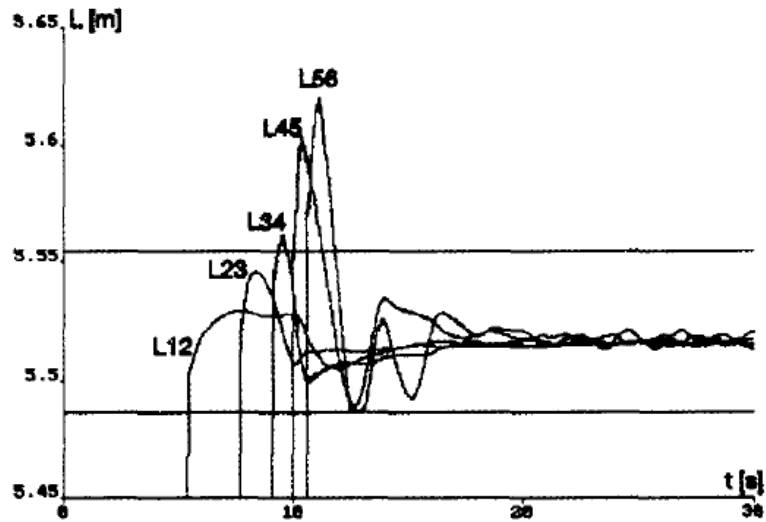


الشكل (15) يبين المخطط قوة الفصل للمراحل الستة

يظهر الشكل [13] السرعة الزاوية للاسطوانات العاملة بدون تأثير فلتر مقياس سرعة الدوران .  
 يظهر الشكل [14] الفجوة بين الاسطوانات العاملة . بعدها وعند مرور خيوط الدرفلة خلال المراحل المختلفة فإن تغيرات هذه الفجوة تشير إلى قيم سماكة المادة المدرفلة .  
 يظهر الشكل [15] قوة الفصل للمراحل الستة .  
 يظهر الشكل [16] عزم التشوه الناتج عن قوة الفصل عند المراحل الستة .  
 يظهر الشكل [17] طول الدرفلة بين المراحل طبقاً لمعايير السرعة الحقيقية . ويلاحظ اختلاف طفيف مقارنة مع الشكل [11]، لاحظ بدقة أن أطوال الدرفلة من أجل المراحل تصل إلى قيمة دنيا . لذا فإن سلوك المحطة يختبر ليكون حساساً للمعايير الأصلية . أما السلوك المختبر بالمحاكاة فقد وجد مطابقاً لسلوك المحطة الأصلية .



الشكل (16) عزم التشوه الناتج عن قوة الفصل عند المراحل الستة



الشكل (17) طول الدرفلة بين المراحل طبقاً لمعايير السرعة الحقيقية

### الاستنتاجات والتوصيات:

#### مقترحات تحسين سلوك النظام

من خلال هذا النموذج ، أخذت الدراسة بالحسبان تقديم مقترحات من أجل تعديل وتحسين المحطة . من خلال سلوك النظام ، تبقى المشكلة الرئيسية الملاحظة هي الميل لجعل طول الدرفلة يصل إلى قيم أصغريه أثناء انسلاخ الخيوط (الرفائق الطولية) للمراحل الأخيرة . والحقيقة أن الدرفلة تصل إلى قيمها الأصغريه بين مرحلتين متتاليتين ( تلك المسافة بين المرحلتين) مما يظهر بأنها تخضع لإجهاد شد يعدل سماكة المنطقة المتأثرة من المادة المدرفلة .

في ما يلي نلخص المقترحات الثلاث لتحسين سلوك النظام وهي :

### 1. الموديل الرياضي ومحاكاة النموذج :

تمت محاكاة أداء المحطة من خلال تغيير القيم الأصلية المطابقة لنموذج المتحكم PID المرتبط بالحلقات ، وقد لوحظت التحسينات المميزة من خلال تقليل التأثير المؤدي إلى وصول الدرفة إلى قيم أصغريه في المرحلة الأخيرة، أثناء انسلاخ المادة المدرفة، إضافة إلى التحكم بالصلابة عندما تكون القيمة الأصلية صغيرة لثابت النموذج بالكامل .

### 2. النسبة المئوية لاستجابة الحلقة :

الآن ، تعطى النسبة مئوية للتصحيح لكل حلقة عند مراحل مختلفة من المحطة . وقد استخدم للدراسة نموذج ثلاثي ، بحيث يحتوي النموذج حلقتين كلاهما يستجيبان بطريقة مطابقة للمرحلة السابقة ، ويمكن تأثيراً متشابهاً في سرعة المرحلة . النسبة المئوية لتأثير الحلقة الثانية في سرعة المرحلة الأولى تتغير و بالنتيجة تنهار تحت تأثيرها . الحاجة إلى استجابة الحلقة الثانية المصححة للمرحلة الأولى تمنع للأسباب التالية :

- افتراض أنه لا يوجد استجابة متاحة و حدث اضطراب في سرعة المرحلة الثالثة فإنه عندما يكون النظام مستقرًا فإن طول الدرفة سيكون بين المراحل 2 و3 متغيراً . سينتج هذا التغير تصحيح في الحلقة الثانية على سرعة كامل المرحلة الثانية ، والذي بدوره سينتج تعديلاً في طول الدرفة بين المرحلتين الأولى والثانية . وهذا يقتضي تصحيح المرحلة الأولى بما يطابق التأخر الزمني.

- يجب أن يملك النظام عددا كبيرا من المراحل ، وهذا التشويش (الاضطراب) سينتشر على كامل المراحل المتوضعة في طريقه وسيصل تأثيره مع تأخر زمني أطول إلى المرحلة الأولى.

- في الحالة التي تملك فيها كل الحلقات استجابة متطابقة بالاتجاه ، فإن القيمة الأصلية هي الأولى التي تلائم سرعة كل مرحلة ، لأن طول الدرفة يبقى ثابتاً ولا يتغير عند حدوث اضطراب . ويمكن القول إن سرعة المرحلة تتغير متزامنة وبمقدار كاف ، بحيث لا تؤدي إلى حدوث أي تغيير في طول الدرفة بين المراحل . بأخذ هذا في الحسبان فإنه ليس مطلوباً تقديم أي تصحيح من قبل المراحل المتبقية .

لكي نحافظ على تدفق ثابت للمادة ، فإن المعدل الذي يجب أن تُصحح به الحلقة للمرحلة السابقة يجب أن يكرر من أجل كل استجابة منجزة من قبل الحلقة على كامل اتجاه التدفق . (أو عكس اتجاه المراحل ، طبقاً لدوران المحور) .

تشير التجربة المنفذة إلى الحاجة للاستجابة لتصحيح كل حلقة على كامل المراحل . أيضاً قيم الاستجابة الأكثر فعالية هي نفسها التي تُصحح بها الحلقة سرعة المراحل القريبة .

### 3. موقع الدائر :

في عمليات الدرفة، يكون الهدف الرئيسي هو المحافظة على سماكة الخرج للمرحلة الأخيرة بحيث يبقى قريباً من القيمة المطلوبة، مع أقل اضطراب ممكن لتلك القيمة . نظراً لأن قوة - الإجهاد السطحي تكون متغيرة، وتابعة لسرعة الدرفة، والتي بدورها تعتمد على سماكة دخل المراحل وسماكة الخرج وعلى سرعة الاسطوانات العاملة ، فإن الزيادة في قوة إجهاد المرحلة ، على سبيل المثال : سينتج زيادة في قوة الانفصال بين الاسطوانات العاملة مما ينتج بدوره زيادة سماكة الدرفة ، بسبب المرونة .

نتيجة لذلك ، إذا كانت سرعة المرحلة الأخيرة منغيرة فإن سماكة الناتج ستتغير أيضاً ، إلى أن تصحح هذه السماكة . ونتيجة لذلك يعتبر مناسباً أن يتم نقل الدائر في المرحلة الأخيرة ، ولن تتغير سرعة الاسطوانات العاملة

نتيجة لهذا النقل. نفذت الاختبارات ولوحظ الميل الكبير فيها إلى إيصال طول الخطوة إلى قيم أصغرية بين المراحل إذا كان الدائر متوضعا في المرحلة الرابعة ، إلى جانب ذلك فإن النظام يكون أيضاً قليل الصلابة في هذه الحالة . من جانب آخر فإن توضع الدائر في المرحلة الثانية ، سينتج تراكم كميات كبيرة من المادة المدرفلة بين المراحل الأخيرة ، بسبب انسلاخ الرفائق .

تغير السلوك الملاحظ عند تغير موقع الدائر ينتج عن عدم تناسق منظم سرعة المحرك الرئيسي . هذا اللاتناسق هو مثل المحرك الدائر بسرعة عالية تتعدل عندما تتخطى بالسرعة المرجعية المحددة. من تأثير الملاحظات السابقة ، فإن المرغوب به على الأقل هو وضع الدائر في المرحلة الرابعة لأن هذا يعني أن المرحلة ستخضع للإجهاد. التأثير المتبقي ربما يصحح بالمعايير المناسبة للسرعة المرجعية من أجل كل مرحلة . أيضاً يلاحظ أن استجابة النموذج تصبح أسرع عندما يتوضع الدائر في المرحلة الأخيرة .

يؤخذ في الحسبان أن تراكم المادة المدرفلة يمكن أن يسبب مشكلة عندما يتوضع الدائر في المرحلة الأخيرة. والحل الممكن من أجل ذلك يمكن أن يكون عن طريق التغذية الراجعة لمرحلة التصحيح باتجاه المراحل . على سبيل المثال ، 9% من سرعتها المرجعية و 1% من تصحيح التغذية ذات الاتجاه نفسه للمرحلة المعاكسة الاتجاه . في عمليات المحاكاة المنفذة بهذا الخيار فإن هذه المشكلة ستخف كثيرا .

### المراجع:

1. Doming Macario, LAMINACION EN CALIENTE, Institue Argentino de sierurgia (IAS) . 2010.
2. Ing. Nelson E. Mazini. LAMINACION, AEPECTOS TEORICOS. 2008.
3. Guy Monaco, DYNAMICS OF ROLLING MILLS – MATHEMATICAL MODELS AND EXPERIMENTAL RESULTS. Iron and Steel Engineer Yearbook, 2007.
4. Vladimir B. Gnzburg, DYNAMIC CHARACTERISTICS OF AUTOMATIC GAGE CONTROL SYSTEM WITH HYDRAULIC ACTUATORS, Iron and Steel Engineer, January 1984.
5. George E. Dieter, METALURGICA MECANICA, Ed. Aguilar. 1997.
6. CONTROL AUTOMATICO DE ESPESORES EN EL TREN CONTINUO DE W A S EN CALIENTE. Internal Report from APSA. APSN34/90.1990.
7. D. Sbarbaro-Hofer. D. Neumerkel. And K. Hunt, NEURAL CONTROL OF A STEEL ROLLING MILL, IEEE Control Systems, June 1993.
8. SIMNON. Copyright (c) SPA Systems, 1990. Department of Automatic Control, Lund, Sweden. Version 3.10.
9. A. Lage, J. Pellicer. B. Kuchen. R. Carelli. "Modelacih, simulacih y propuestas para la optimización del tren de laminacih de chapa en caliente de APSA". Internal Report, INAUT, Universidad Nacional de San Juan, Argentina, 1994.
10. Eustace C. Larke. THE ROLLING OF STRDP. SHEET AND PLATE, Ed. Chapman and Hall Lte., 1963.
11. H. J. Ter Maat. THE RENOVATION AND AUTOMATION OF A TANDEM COLD ROLLING MILL, Automatica. Vol. 18. No. 2, pp. 63-69. 2012.
12. Wolfgang Rohde , HYDRAULIC SCREWDOWN SYSTEMS IN HOT STRIP AND HEAVY PLATE MILLS. 2011.