

熱捲箱製程對熱軋產率之影響及改善研究

廖啓民^{*1}、張耀南¹、黃朝琪¹、張註偉²、李毓斌³、許連勝³

Effect and Improvement of the Coilbox Process on the Hot-Roll Product Yield

C. M. Liao^{*1}, Y. N. Chang¹, C. C. Huang¹, C. W. Chang², Y. B. Li³, L. S. Hsu³

Received 10 August 2010; received in revised form 6 December 2010; accepted 8 March 2011

摘 要

熱軋鋼捲之生產有一貫軋延及熱捲箱兩種製程，加熱爐之燃料則以煉焦爐氣(COG)或重油為主。甲鋼鐵公司之熱軋鋼捲生產採用燒重油之加熱爐配合熱捲箱製程，其熱軋鋼捲產品產率較乙鋼廠差，而後者乃採用 COG 加熱爐配合一貫軋延製程。本研究之目的在釐清前述問題是否與產線差異有關以及如何改善。本研究分成三階段進行，第一階段先澄清前述問題的主因不在加熱爐的差異。第二階段確認熱捲箱製程會因為盤捲而造成氧化皮大量脫落，露出新鮮表面，於高溫再迅速氧化而提高銹損，進而導致產率降低。第三階段乃於現有熱捲箱作業下，以適當之盤捲條件，獲得不損表面品質但仍可提升產率之適當製程。

關鍵詞：熱軋鋼捲；熱捲箱；銹損；產率。

ABSTRACT

Continuous rolling processes and coilbox processes are both used in the production of hot-roll bands. The coke oven gas (COG) and oil are two major fuels for hot-rolling furnaces. An oil furnace with the coilbox process was used by company A, but a COG furnace with the continuous rolling process was adopted by company B. The yield of hot-roll bands at company A was less than that at company B. This work was aimed at clarifying the cause of the less yield and then improving it. There were three major findings. The first one was that the oil furnace of company A was not responsible for the less yield. The second one was that the less yield was actually related to the coilbox process because a repetitive exfoliation and surface oxidation during the coilbox coiling generated more scales and caused significant material losses. The third finding was a suitable coiling speed to reduce the scale exfoliation and to increase the yield, without degrading the surface quality.

Keywords: Hot-roll band; Coilbox; Scale loss; Yield.

1 中國鋼鐵公司鋼鐵研發處產品應用發展組

1 Product Application Research Section, Steel & Iron R&D Department, China Steel Corporation

2 中鴻鋼鐵公司技術處熱軋品管課

2 Hot Rolling Quality Assurance Section, Technology Dept., Chung-Hung Steel Corporation

3 中鴻鋼鐵公司熱軋廠熱軋課

3 Hot Rolling Section, Hot Rolling Dept., Chung-Hung Steel Corporation

* 連絡作者：134304@mail.csc.com

1. 前言

鋼鐵熱軋鋼捲(hot-roll band)之生產製程有一貫軋製程及熱捲箱(coilbox)製程兩種，前者之軋製過程是鋼胚於加熱爐中加熱到所設定溫度之後，一路經過粗軋、精軋、盤捲成熱軋鋼捲；後者則於粗軋之後以熱捲箱將鋼材盤捲，而後再解捲、精軋、盤捲成熱軋鋼捲。而各鋼廠加熱爐之燃料則以煉焦爐氣(coke oven gas, COG)或重油為主。

相對於主流的一貫軋製程，熱捲箱製程有數項優點^[1-3]，例如：(1) 減小中間胚的頭尾溫差，這是因為在熱捲箱處盤捲時具有保溫且均溫效果，因此進入精軋機時，可以保持大致等溫，而一般產線則鋼捲頭尾端溫度差異很大^[4]；(2) 降低中間胚的溫降速度，可於精軋時進行等溫恒速軋製；(3) 縮短粗軋與精軋之間生產線空間，節省建設投資；(4) 在精軋階段故障情況下，較易控制軋製節奏，縮短廢鋼處理時間。

然而，熱捲箱也有其缺點^[1,3]，例如：(1) 具熱捲箱之熱軋設備無法進行加速軋製；(2) 熱捲箱設備構造比較複雜，需要較大量的維護工作和充分的備品；(3) 一般不適宜特殊鋼種、高強度或難變形鋼種的軋製，例如含矽鋼、特殊合金等；(4) 熱捲箱開捲影響精軋後張力的穩定，進而影響軋件的厚度控制效果；(5) 頭部浪形會影響剪切的精度。

甲鋼鐵公司之熱軋鋼捲生產採用燒重油之加熱爐配合熱捲箱製程，乙公司則採用以 COG 為燃料之加熱爐配合一貫軋製程。兩家公司產品之比較，甲公司的熱軋鋼捲產品有生產產率(yield)較低的現象。本研究目的即在釐清前述問題是否與產線差異(加熱爐或軋鋼方式)有關，以及如何改善。

儘管熱捲箱的機械設備資料已經很完整，但熱捲箱與產率的關係則尚未見於文獻，其影響依然有待本研究之澄清。

2. 實驗方法

本研究之執行分成三個階段，第一階段重點在釐清加熱爐的差異對前述問題之影響，第二階段在確認熱捲箱段之影響；第三階段則著重如何於現有設備限制下解決前述問題。

2.1 釐清加熱爐對氧化失重之影響

為了釐清加熱爐與產率之相關性，分別於甲、乙兩鋼廠的加熱爐進行回退試驗(run-back test)。

Run-back 試驗是將兩塊研磨過之鋼塊(約為 8 cm × 8 cm × 4 cm)分別置放於氧化鋁坩堝，再個別擺置在一個報廢鋼胚上，隨著鋼胚進入加熱爐經過與正常鋼胚一樣之熱履歷。鋼胚出爐後，退回至加熱爐外之空地上，將鋼胚上方之鋼塊試片個別扒入一個裝滿水的大水桶中，讓試片快速冷卻至室溫。

鋼塊水淬時會有大量氧化皮脫落，將試片以酸洗方式(常溫，酸液以 HCl:H₂O = 1:1 調配，加 3 g/L 之六甲基四胺抑制劑)去除所有殘鏽，再秤重，比較試驗前後鋼塊之重量，以計算其單位面積的氧化失重量，計算方法如公式(1)：

$$\left(\frac{\text{試片原始重} - \text{試片酸洗後之淨重}}{\text{試片原始面積}} \right) \times 100\% \quad (1)$$

2.2 確認熱捲箱對產率之影響

為了達到此目的，必須比較甲公司的熱捲箱正常盤捲與不盤捲二者對產率之影響差異。實驗是在熱捲箱階段進行盤捲與不盤捲兩項操作，盤捲及不盤捲之鋼捲各生產十二顆，並蒐集成品之鋼捲重、裁切掉之鋼塊重、以及生產前之鋼胚重，並根據以下之公式(2)計算其實驗產率：

$$\left(1 - \frac{\text{鋼捲重} + \text{裁切之鋼塊重}}{\text{鋼胚重}} \right) \times 100\% \quad (2)$$

2.3 於現有產線設備下改善產率

熱捲箱盤捲時的模式是前四至五圈以低速盤捲，而後加速到適當速率，以此速度維持到盤捲快結束之前減速，最後完成盤捲作業。改變熱捲箱的盤捲速率，以如圖 1 所示之五種不同捲速生產，試驗 1 的捲速最高，也是目前生產所採用的盤捲速率。捲速 2 比捲速 1 低 25 mpm，以此間距減速至捲速 5。此不同捲速試驗僅針對 2.45 mm 厚之鋼捲，除了熱捲箱捲速之外，其餘所有生產參數都儘量維持一般生產時之條件。每個減速試驗之條件分別生產六顆鋼捲，減速試驗完畢之後進行銹損解析，以比較不同捲速之產率差異。此外也取得部份條件之鋼捲的頭、尾端，於實驗室進行酸洗之後，量測其氧化皮-

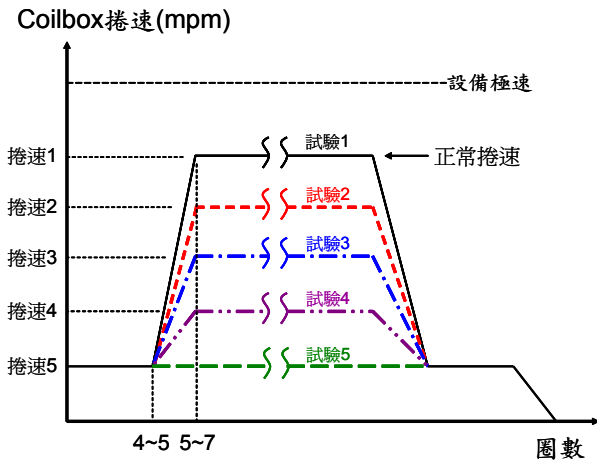


圖 1 熱捲箱減速試驗設計示意圖。
Figure 1 Experimental design for testing of the coilbox coiling speed.

底材界面粗糙度，以了解減速是否造成表面品質改變。

3. 結果與討論

3.1 加熱爐對氧化失重之影響

鋼胚在加熱爐的高溫下會產生大量氧化皮，而氧化皮的生成會造成鋼材的損失，稱為銹損(scale loss)，最後影響產品的產率，銹損高者產率較低，反之則產率較高。

在甲公司和乙公司進行 run-back 試驗之後，比較二者因為氧化而造成的單位面積失重如表 1 所示，可知甲公司的氧化失重為 0.42 g/cm²，低於乙公司的 0.61 g/cm²。試片之單位面積氧化失重低者，表示鋼胚在加熱爐階段生成的氧化皮量較少；換言之，在鋼胚加熱之後，甲公司的鋼胚銹損比乙公司低。

在本研究中，如果加熱爐階段的銹損大小是最重要的影響，則甲公司的產率應該高於乙公司；但

表 1. Run-back 試驗之試驗條件及結果。

Table 1 Experimental conditions and results of run-back tests.

試驗公司	燃料	出爐溫度	單位面積氧化失重
甲	重油	1220 °C	0.42 g/cm ²
乙	COG	1220 °C	0.61 g/cm ²

實際狀況剛好相反。因此，甲公司的成品產率低於乙公司之現象不是加熱爐之差異所導致，而應該與後續之熱軋製程或設備之差異有關。

3.2 熱捲箱段對產率之影響

表 2 是熱捲箱有盤捲及未盤捲各 12 顆鋼捲之平均實驗產率的解析結果，熱捲箱段有盤捲之鋼捲的實驗產率為 99.22%，而未盤捲者則為 99.50%，後者比前者高出 0.28%，以鋼廠的生產而言，這是相當可觀的差異。此一現象顯示熱捲箱若不盤捲，則產率可以明顯提升。因此，熱捲箱作業確實對於熱軋鋼捲的產率有很大的影響。

觀察熱軋過程，在熱捲箱段盤捲時，其頭、中、尾段之狀況如圖 2 所示，頭段及尾段的捲速慢，氧化皮脫落現象較輕微；但盤捲中段的捲速很快，氧化皮如雪花般大量掉落，顯示氧化皮之脫落程度與捲速有很大關係。此一現象是因為當鋼材行進到熱捲箱而開始盤捲時，鋼材因為捲曲而受力，下表面的氧化皮受到擠壓的力量，破裂的程度較低，且不論有無破裂都因為隨即被捲入鋼捲中而未脫落。但外圈之氧化皮受到拉伸應力而很容易產生破裂，若有進一步之剝離力量，則氧化皮會因此而脫離鋼材；若剝離力量不大，則氧化皮仍保持在鋼材表面。在盤捲初期及末期，因為捲速較慢，因此氧化皮受到的剝離力量較小，脫落現象較輕微。而在盤捲中段，盤捲速率很快，外圈氧化皮的離心力很大，因此產生大量的氧化皮脫落。但熱捲箱段不盤捲的鋼材則不會有此現象，如圖 3 所示。

鋼材在高溫之下，表面生成的高溫氧化皮對於氧、鐵的擴散有阻隔作用，會使後續之氧化速率下降。熱捲箱段未盤捲之鋼材在生產中氧化皮未脫落，因此在熱捲箱段所增加的氧化量不高。然而，熱捲箱段有盤捲者會因為氧化皮脫落而露出新鮮之底材，或是部分脫落而剩下較薄之殘銹，此時鋼材溫

表 2. 熱捲箱盤捲與否與產率之關係。

Table 2 Relationship between the coilbox operation and the hot-roll-band yield.

熱捲箱盤捲與否	產率(%)	產率差異(%)
盤捲	99.22	0.28
不盤捲	99.50	

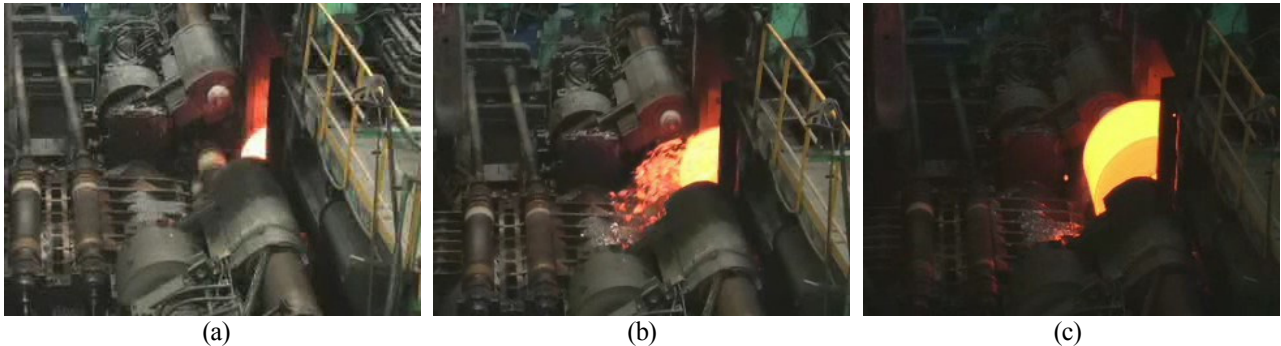


圖 2 熱捲箱作業時之狀況，(a) 頭段，(b) 中段，(c) 尾段。

Figure 2 Surface conditions of the steel at different coilbox coiling stages: (a) beginning of coiling, (b) middle of coiling, and (c) end of coiling.

度約為 1000 °C，因此底材在沒有擴散阻隔的狀況下，會進一步快速氧化，最終造成總氧化皮量比未盤捲者大。此應是熱捲箱段未盤捲者的產率高於有盤捲者之主因。

3.3 於現有產線設備下改善產率

圖 4 是熱捲箱盤捲時，三種不同盤捲速率與氧化皮脫落狀況之差異，顯示氧化皮脫落程度確實如預期般與熱捲箱捲速相關，速率越高則氧化皮脫落狀況也越激烈、越明顯，低捲速則氧化皮脫落較和緩。

不同熱捲箱捲速與其平均鋼捲產率的關係如圖 5 所示。不論是實驗產率(計算時加入裁切掉之鋼塊重，如 2.2 節之式(2)或生產產率(實際生產時不計入



圖 3 熱捲箱不盤捲之狀況。

Figure 3 Surface condition of the steel without coilbox coiling.

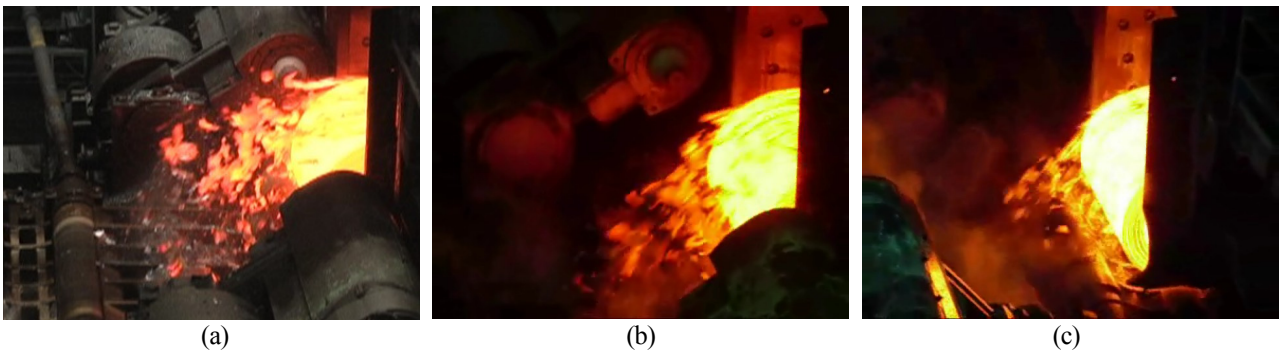


圖 4 熱捲箱捲速不同與氧化皮脫落狀況之差異，(a) 捲速 1 — 高捲速，(b) 捲速 2 — 中捲速，(c) 捲速 3 — 低捲速。

Figure 4 Effect of coilbox coiling speed on the scale exfoliation during coiling with (a) speed 1 representing a high speed, (b) speed 2 representing a medium speed, and (c) speed 3 representing a low speed.

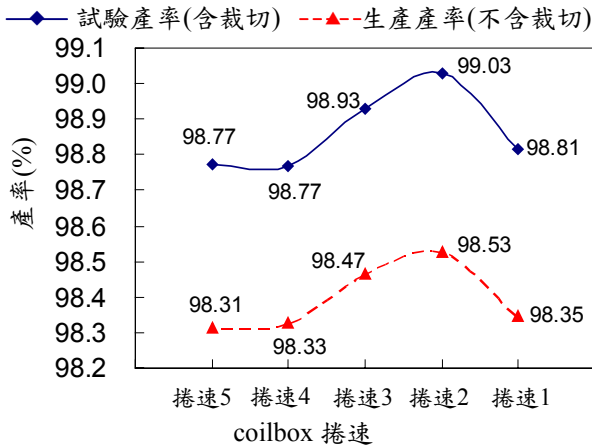


圖 5 熱捲箱捲速與鋼捲產率之關係。
Figure 5 The relationship between the coilbox coiling speed and the production yield.

裁切掉之鋼塊重)，當熱捲箱捲速由正常生產的捲速 1(即最高捲速)減速到捲速 2(比捲速 1 慢 25 mpm)時，兩種產率都提升，其中實驗產率由原本的 98.81% 提升到最高點 99.03%；生產產率則由 98.35% 提升為 98.53%。當降到捲速 3 時，其產率則分別下降為 98.93%及 98.47%；當捲速降為 4 及 5 時，其實驗產率都是 98.77%，而生產產率分別降為 98.33%及 98.31%。

產率的差異若在 0.05%以內可視為相近，超過 0.05%之差異才視為有較明顯改變。由此結果，可以確定熱捲箱捲速由正常生產之捲速 1 下降至捲速 2 及捲速 3 時，產率明顯提升，其中實驗產率分別提升 0.22%及 0.12%，而生產產率則分別提升 0.18%及 0.12%。當捲速繼續下降，則不論實驗產率或生產產率都降到與正常捲速差不多(差距 0.05%以內)。

而實際觀察顯示捲速下降確實會使氧化皮脫落狀況減輕(圖 4)，因此理論上露出的新鮮表面較少，再生長的氧化皮量應該較少，銹損較低，產率應該提高。但實驗的結果卻發現產率提升並未隨著熱捲箱的減速而持續增高，於減速到某一程度之後，產率提升量反轉而下降。因此除了上述會使產率提升的正向作用之外，應該存在一個負向效應。

圖 6 是熱捲箱捲速與平均盤捲時間之關係，顯示捲速越快則盤捲時間越短，捲速越慢則盤捲時間越長。當為捲速 1 時，盤捲時間約為 16.6 秒；當為捲速 5 時，盤捲時間約為 22.4 秒，約相差 6 秒，等

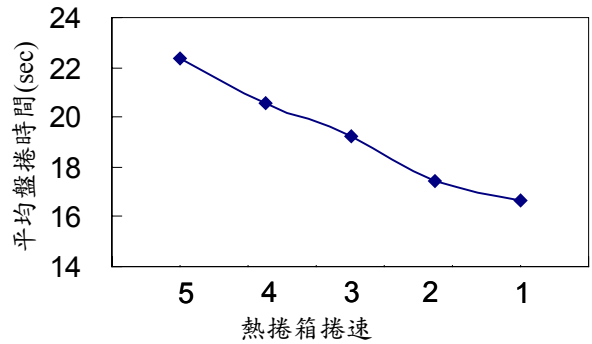


圖 6 熱捲箱捲速與盤捲時間之關係。
Figure 6 The relationship between the coilbox coiling speed and the coiling time.

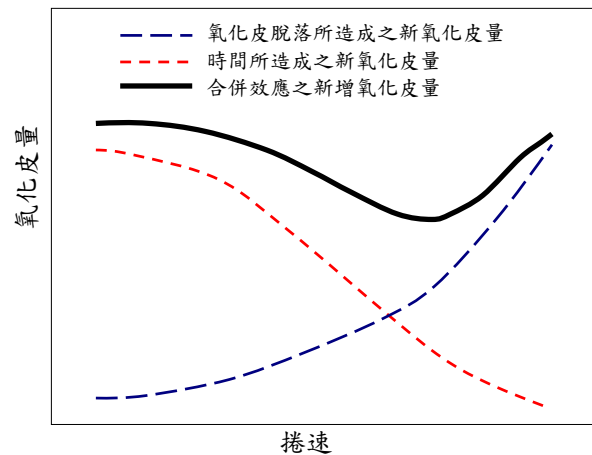


圖 7 熱捲箱捲速對氧化皮量之作用示意圖。
Figure 7 The schematic representation of the effect of coilbox coiling speed on newly formed scales.

於提升盤捲時間 35%。盤捲時間越長，則高溫下生長氧化皮的時間也越長，銹損提高。此一現象應該就是造成產率未隨熱捲箱捲速下降而持續提升的負向效應。

因此，在熱捲箱捲速改變時，前述之正向與負向效應同時作用，最終是二者總合的結果。圖 7 是熱捲箱捲速對氧化皮量之作用示意圖，當捲速下降時，因氧化皮脫落而再生成的氧化皮量減少(藍長虛線)，但因盤捲時間增長而再生成的氧化皮量則上升(紅短虛線)，整體的效應便有一銹損的最低值(粗黑線)。而呈現為產率則如圖 8 之粗紅線般，產率隨著

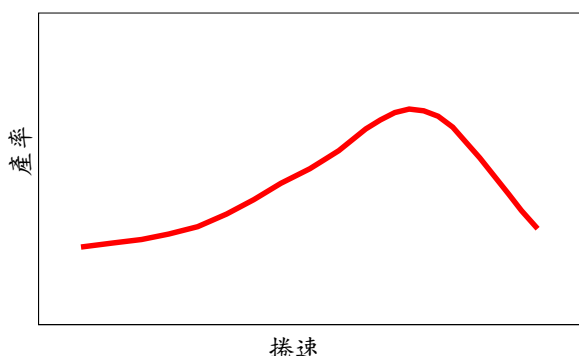


圖 8 熱捲箱捲速對產率之作用示意圖。

Figure 8 The schematic representation of the effect of coilbox coiling speed on the production yield.

熱捲箱捲速下降而上升至最高值後反轉下降，因此只有在適當捲速之下才具有最高產率。

在以降低熱捲箱捲速而提生產率的目的之下，不能損及鋼捲的表面品質，因此氧化皮-底材界面粗糙度須予以釐清。圖 9 即是不同熱捲箱捲速之下，鋼捲全寬的粗糙度(Rz)分佈，顯示捲速下降並不會使氧化皮-底材界面粗糙度變差，甚至產率最高的捲速 2 似有較低之粗糙度，其原因尚須釐清。換言之，降低熱捲箱捲速不會使鋼捲表面品質下降，甚至可能改善。

3.4 目前情況

根據研究結果，甲公司已經採取適度的熱捲箱盤捲速率生產，每年在不更動設備，不增加任何成本的情況下，保守以提生產率 0.1%計算，可以增產 2400 噸以上之熱軋鋼捲，每年直接獲利可達 5000 萬元以上。

4. 結論

1. 甲公司產率不佳的主因不在加熱爐段，而是在後續之熱軋製程或設備之差異。

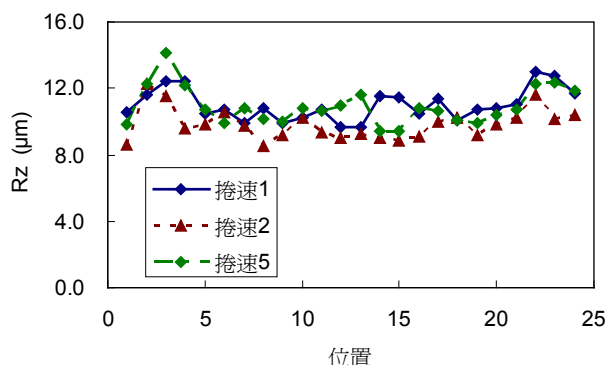


圖 9 熱捲箱捲速與鋼捲的粗糙度分佈關係。

Figure 9 The relationship between the coilbox coiling speed and the distribution of surface roughness.

2. 熱捲箱作業因氧化皮大量脫落，暴露出新鮮表面，於高溫下又再快速生成氧化皮，導致氧化皮量增加，銹損提高產率下降。
3. 熱捲箱盤捲速率適當下降可降低銹損，提升產量；但過度減速則無效果。氧化皮脫落而再生的氧化皮量變化，與盤捲時間增長而再生的氧化皮量變化，兩者的整體的效應使產率在適當捲速之下具有最高產率。

參考文獻

1. 吳俊，寶鋼技術，2005年，第5期，第24頁。
2. 張斌，寶鋼技術，2004年，第4期，第11頁。
3. 胡建平、張志剛，軋鋼，24(4)(2007)45.
4. HATCH 公司網站，<http://www.hatch.ca/Technologies/Coilbox/>

收到日期：2010年8月10日

修訂日期：2010年12月6日

接受日期：2011年3月8日