# خلاصه ای از معرفي تكنولوژي هاي تختال نازك

# (Thin Slab)

**نويسنده :**

الهام كردزاده[1]

1.محقق آزاد صنايع فلزي و معدني

با همكاری:

جناب آقای مهندس رادفر


**اپريل 2016**

*Education: 2001-2004*
*M. Sc.* Corrosion Science and Engineering
Shahid Bahonar University of Kerman, Iran, GPA: 3.42 of 4

Thesis: The Evaluation of Corrosion and Mechanical Properties of Aluminum Heat Resistant Alloys for Replacing to Converter Openings of Copper Complex Industries
Grade: 4 of 4

*1998-2001*
*B. Sc.* Material science and Engineering
Shahid Bahonar University of Kerman, Iran, GPA: 3.09 of 4

B.Sc. Thesis: Completion, Calibration, Operation of Salt Spray Apparatus and Evaluation of Resistance of Galvanized Coatings/ST12 Steel in Salt Spray Test
Grade: 3.9 of 4

*Grants and Awards:*
First rank in M.Sc., 2004, Iran
Second rank in B. Sc., 2001, Iran

*Current Title and Position:*
✓ An Enginering Company
May 2016-Present
Technology and Innovation

June 2014-May 2016
✓ (Namad Sanat Pars Holding) -Fakoor Sanat Tehran
Head of Metallurgy Department
- Technology and Know how
- Engineering of pelletizing and steel making plants
- Se Chahun pelletizing plant(Kobe Steel)
- Sangan pelletizing plant (NETC)
- Bonab steel making tender
- Ghadir steel making tender (Danieli)
- Hosco pelletizing tender
- Gol-e-Gohar steel making tender
- Sephid Dasht Thin slab tender

January 2013-June 2014
✓ (Namad Sanat Pars Holding) -TIV Energy
Head of Mines and Metals -Business Development Department
- Consultant of Ghadir steel making plant (Danieli & Fakoor Sanat)
- Head of technical and commercial team, Kordistan Steel Making plant (FAIM)
- Coordinator of Gohar Zamin Pelletizing plant (Outotec)
- Head of technical and commercial team Sungun smelting plant tender(Outotec)
- Consultant of Sirjan steel making plant (Danieli & TIV energy)
- Coordinator of Persian Gulf alumina (NFC)
- Coordinator of Persian Gulf pipelines
- Head of technical team and coordinator of Shahrood coke making plant(CIMM)

✓ Independent Author and Translator
Mines and Metals Journals
- Comparison between Allis Chalmers and Lurgi Method of pelletizing
- An outlook in steel making and pelletizing projects in Iran
- Pelletizing- Technical and commercial outlook
- Iran pelletizing plants

- Comparison between different methods of pelletizing
- An Outlook to Iran Copper projects
- Translation-Lead and Zinc, tightening up slowly
- Translation-Sentiments and fundamentals drive copper market
- Steel making contractors, consultants and clients of Iran

✓ Independent Researcher

Since 2011 till now

- Developing Simulator and Designer of Induration Machine (Lurgi Pelletizing Method)
- Technology Selection and Process know how
- Comparison between Lurgi and Allis Chalmers Technology
- Direct reduction and pelletizing in one plant.
- Simulation of direct reduction
- Optimizing Lurgi process using simulation

September 2011-January 2013

✓ Pamidco

- Commercial Department
- Senior Commercial Expert, Consultant of Chadormalou steel making
- Chadormalou steel making plant (Tenova) -Khorasan pelletizing plant

December 2007-March 2011

✓ ITOK

- Senior project manager of Bafgh steel project and Senior process engineer
- Senior project manager and process engineer of direct reduction & steel making plant of Bafgh (Fuchs)
- Coordinator of Shahid Kharazi tender (Tenova)
- Coordinator of Mahneshan steel making plant tender (MCC)

December 2001-May 2006

✓ Samangan Steel Industries

Engineering office

Senior project engineer

- Steel making plant (SMS Demag, Danieli, VAI, …)
- Process engineer of Bafgh steel making plant

January 2003-May 2004

✓ Sarcheshmeh Copper Complex Industries

- R & D Researcher, M.Sc. Thesis

July 2003-September 2003

✓ Shahid Bahonar Copper Industries Co.

- B. Sc. Project. An Investigation between Electrical Conduction and Mechanical Properties of Copper and Brass Products

Technical Experiences:

- Mining and metals industries specially steel making plants, direct reduction, pelletizing, copper industries, coke making plant, Alumina, …
- Project engineering
- Commercial activities
- Technologies and know how
- Financial activities of projects
- Procurement
- Project price analysis
- Pelletizing Technologies

*Trainings (Certificates):*

1. INCOTERMS 2010, Commercial Chamber of Iran
2. Selection of Alloys for Oil and Gas Industries, Iranian Corrosion Association
3. MATLAB, Self Training
4. ANSYS Work bench, Novin Parsian
5. General Management, Fakoor Sanat
6. Patents and Papers Writing, Fakoor Sanat
7. Color Inspection, NIS (Germany) and Color Industries Research Center
8. Cathodic Protection, Iranian Corrosion Association
9. Welding Inspection, Iranian Technical and Professional Organization
10. Quality Control, Shahid Bahonar Semi Finished Product

*Conferences papers:*

- The effect of Nickel on sulphidation resistance of austenitic heat resistant alloys, 43rd annual conference of metallurgists of CIM, Hamilton, Canada, 2004
- The effect of nickel and aluminum on fracture mechanism of aluminum austenitic heat resistant steels, Steel Symposium, 2004, Yazd, Iran
- The effect of aluminum on sulphidation properties of austenitic heat resistant steels, 9th National Corrosion Congress, 2004, Isfahan, Iran
- The effect of nickel and aluminum on oxidation of austenitic heat resistant steels, 4th congress of material engineering and metallurgy of Iranian universities, Tehran, Iran, 2004
- An investigation of effective factors on fracture of heat resisting Fe-25Cr-12Ni alloy used in Copper complex converter, 8th Annual Congress of Iranian Metallurgy Engineers, 2004, Isfahan, Iran

*Published papers:*

1. The Effect of Nickel Increasing and Aluminum Addition on Sulphidation Resistance of Fe-Ni-Cr Alloys, International Journal of Engineering, 2005
2. The Fracture Mechanisms of an Austenitic Heat Resisting Steel in Copper Converter Atmosphere, International Journal of Iron and Steel, 2008
3. Comparison between Lurgi and Allis Chalmers Process, Pardazesh Magazine, Iran, 2016
4. An introduction of Endless Strip Technology, Pardazesh Magazine, Iran, 2016
5. Technical Note-Arvedi Technology , Samt News, Iran, 2016

*Technical Reports and Translations*

1. Comparison between Travelling grate and grate kiln Method of pelletizing
2. An outlook in steel making and pelletizing projects in Iran
3. Pelletizing- Technical and commercial outlook
4. Iran pelletizing plants
5. Comparison between different methods of pelletizing
6. Steel making vendor list
7. Translation- Lead and Zinc, tightening up slowly
8. Translation-Sentiments and fundamentals drive copper market

## 1. مقدمه:

برای تولید محصولات تخت، فولاد مذاب عموما به صورت اسلب در ماشین ریخته گری مداوم اسلب ریخته مي شود. این اسلب پس از بازرسی، دوباره قبل از آن که در واحد نورد گرم مدوام یا نیمه مداوم به صورت کویل درآید در کوره های متعادل کننده دما تا دماي نورد حرارت داده مي شود. توسعه ریخته گری تختال نازك و نورد (TSCR) یک گام به جلو برای کاهش تعداد مراحل فرایند در تولید کلاف نورد گرم (HRC) است. تکنولوژی TSCR با هدف اصلی کاهش هزینه تولید و سرمایه گذاری ایجاد شد اما امروزه تبدیل به یکی از مسیرهای تولید فولاد به عنوان یک ماده پیشرو در مصارف تکنولوژیکي شده است. در ابتدا، تنها فولادهای ساده کربنی تجاری با این روش ریخته گري مي شد. اما در حال حاضر بسیاری از انواع فولاد از جمله کم کربن، کربن متوسط و بالا، انواع لوله هاي HSLA و فولاد هاي مورد استفاده در صنایع خودرو مي توانند از این طریق تولید شوند. در واقع این تکنولوژی تغییري در الگوي تکنولوژي هاي ریخته گری و نورد را به ارمغان آورده است. تکنولوژي نورد و ریخته گري تختال نازك با بهبود در بخش هاي زیر امکان پذیر گردید:

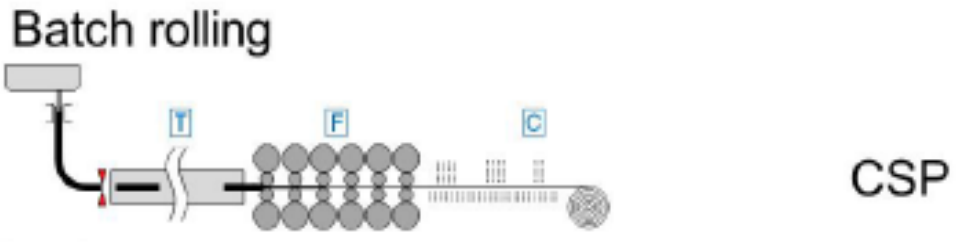
1. طراحي قالب
2. سیستم لرزاننده هیدرولیکي قالب
3. استفاده از ترمز الکترومغناطیسی (EMBR)
4. استفاده از سیستم پوسته زدا با فشار بالا و غلتك هاي پشتیبان جانبي
5. سیستم خنك کن با اسپري آب
6. سیستم کاهش مغزي مذاب دینامیکي

## 2. تاريخچه:

اجرای تكنولوژي نورد و ريخته گري تختال نازك (TSCR) تا اواسط دهه هشتاد با توجه به چالش های متعدد تكنولوژيكي هيچ موفقيت بدست نياورد. مساله نخست، پيدا كردن راه حلي در رابطه با ريخته گري تختال نازك و عمليات با سرعت بالا بود. مساله ديگر پيدا كردن راهي براي استفاده از مزاياي سيستم هاي ريخته گري تختال نازك با هدف غلبه بر محدوديت هاي ناشي از كيفيت و ميزان توليد پلنتهاي نسل اول ريخته گري تختال نازك بود.

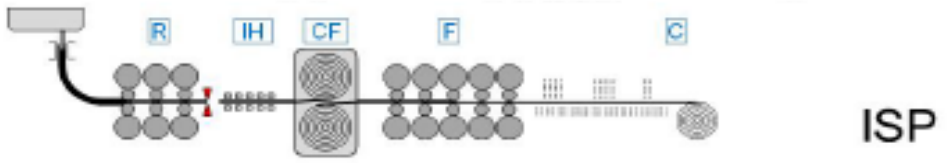
اولين موفقيت در اين مسير در اكتبر 1985 توسط SMS Schloemag-Siemag به دست آمد و اولين تختال نازك به ضخامت 50 ميليمتر در يک پلنت پايلوت در Kreuztal-Buschhutten ساخته شد. اين موفقيت با يك قالب قيفي شكل پتنت شده و نازل غوطه ور بهينه شده به دست آمد. SMS Schloemag - Siemag، اين تكنولوژی را توليد تسمه فشرده (CSP) ناميد. اولين كارخانه CSP در اواخر سال 1987 سفارش گذاري و در سال 1989 در NUCOR Steel ايندياناا در كرافوردزويل راه اندازي شد.

طول كل كارخانه 260 متر بود و به همين دليل توليد تسمه فشرده ناميده شد.در مقايسه با كارخانه های مرسوم حدود 900 متر طول داشته و طول خط توليد با فرايند شارژ داغ (HDR) حدود 500 متر است.



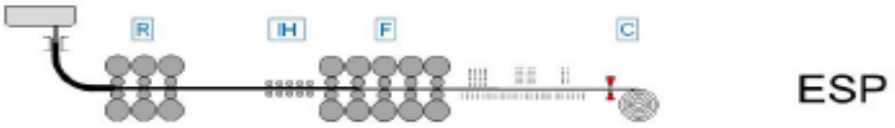

شکل 1. شماتیک فرایند تولید تسمه در پلنت های فشرده (CSP)

چند روز بعد از راه اندازی به دلیل عدم تجربه اپراتورها در ماشین ریخته گری وقفه اي ایجاد شد که این امر بر روند پذیرش سریع این فناوری تاثیر گذاشت. تقریبا در همان زمان، فرایند تولید تسمه هم خط (ISP) توسط گروه مانسمان دماگ و Arvedi در حال توسعه بود. توسعه ISP در سال 1988 بر اساس پتنت Arvedi-مانسمان آغاز شد. در سال 1992، کارخانه نمونه ISP توسط Arvedi در کرمونا احداث و در 1995-1994 اولین فاز توسعه آن تکمیل گردید.



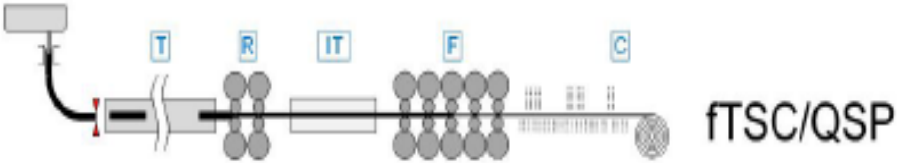

شکل 2. شماتیک فرایند تولید نورد هم خط

بعدها بر اساس تکنولوژی ISP ، Acciaieria Arvedi روش جدیدي از فرایند ریخته گری/نورد مداوم را تحت نام تجاری Arvedi ESP توسعه داد. دانیلی ایتالیا و پرایمتالز اتریش نیز دو شرکتي هستند که تکنولوژي نورد و ریخته گري تختال نازك را گسترش دادند. از زمان ایجاد تکنولوژی CSP طراحی های دیگری در رابطه با TSR ایجاد شد. تولید هم خط (ISP)، Conroll، Tippins-Samsung Process (TSP)، تولید تسمه با کیفیت (QSP)، تولید تسمه مداوم (ESP) و ریخته گری تختال نازک دانیلی از آن جمله است.




شكل 3. شماتيك فرايند توليد نورد مداوم

فن آوری TSCR يك جهش بزرگ در چين و هند براي گسترش توليد فولاد پديد آورده است. امروزه يک پلنت TSCR با سه استرند بر اساس تكنولوژی CSP در ESSAR گجرات، هند نصب شده است.




شكل 4. شماتيك فرايند توليد نورد مداوم انعطاف پذير

## 3. ضرورت استفاده از تكنولوژي هاي جانشين

از ديدگاه مهندسی، سناريوی مطلوب، براورده ساختن نيازهاي مهندسي با استحكام و خواص فيزيكی و شيميايی مورد نظر فولاد است. برای ايجاد چنين تغييري كه به لحاظ فنی و اقتصادی جذاب باشد، دو شرط بايد برآورده شود. توليد كننده فولاد بايد مطمئن باشد كه سودش كاهش نمي يابد و به مصرف كننده هم بايد محصولي سبكتر با استحكام بالاتر با قيمت پايين تر ارائه شود.

هزينه فولادهاي ميكرو آلياژي شده با دو نوآوري در تكنولوژي هاي فولاد سازي كاهش يافت. در طول دهه گذشته، استفاده از كوره قوس الكتريكي (EAF) به شدت افزايش يافت و توليد حدود 40 درصد فولاد جهان با اين روش صورت گرفت. در مرحله دوم، تكنولوژی ريخته گري تختال نازك، اقتصاد محصولات تخت كويل شده را به شدت تحت تاثير قرار داد.

قابلیت تولید محصول تخت نورد گرم شده به صورت مستقیم بدون توقف از فولاد مذاب، نشان دهنده یك گام اساسي براي كاهش هزينه هاي توليد فولاد است.یکی از مهمترین جنبه های ترکیب تکنولوژی ریخته گری تختال نازک با نورد گرم سرعت و انعطاف پذیری و صرفه جویی در مصرف انرژی آن است.

## 4. جنبه هاي متالورژيكي تكنولوژي ريخته گري تختال نازك:

برخي از جنبه هاي متالورژيكي اين تكنولوژي عبارتند از:

- انجماد سريع تختال نازك در مقايسه با ضخامت متداول
- تصحيح ساختار دندريتي و كمك به همگني بيشتر ساختار
- كمك به خواص ايزوتروپيك در طول نورد
- به دليل دماي بالاي تختال قبل از نورد ميكروآلياژهاي اضافه شده به صورت حل شده باقيمانده و از رسوب زودهنگام عناصر جلوگيري مي كند.
- دماي بالاي تختال در زمان خمش از ايجاد تركهاي عرضي جلوگيري مي كند.
- انتقال مستقيم تختال به نورد مهمترين عامل در كاهش مصرف انرژي در نورد است.

## 5. طراحی و کنترل سیستم ریخته گری و نورد تختال نازک:

تولید تختال نازک نیاز به کنترل دقیق در ناحیه ریخته گری دارد تا تختال با کیفیت بالای مورد نیاز برای نورد گرم فراهم شود. قالب های باریک تر برای سیستم های ریخته گری مرسوم مشکلات ریخته گری را تشدید کرده و به کنترل بالاتری از پارامترهای ریخته گری نیاز است. در طراحی سیستم های ریخته گری تختال نازک پارامترهای زیر باید مد نظر قرار گیرد:

- کنترل دقیق ریخته گری در سرعت های بالاتر از 3 متر بر دقیقه از لحاظ سرعت های ریخته گری متفاوت و ریخته گری متوالی
- کیفیت سطحی و داخلی بالا برای تختالهای نازک بسیار مهم است زیرا با شارژ مستقیم به ناحیه نورد امکان پوسته زدایی وجود ندارد.
- توزیع یکنواخت دما در مقطع تختال قبل و بعد از کوره متعادل کننده دما

زمان انجماد برای یک تختال 250 میلیمتری مرسوم حدود 22.5 متر بر دقیقه است اما برای تختال نازک 80 میلیمتری 2.5 دقیقه و برای اسلب با ضخامت 50 میلیمتر 1.5 دقیقه است.

انجماد سریعتر، ساختار یکنواخت تر و ریز دانه تری را ایجاد می کند. فضای بین دندریت های ثانویه ریز (SDAS) با انجماد سریع در ریخته گری تختال، ساختار همگن تری با میکرو جدایش کمتر نسبت به ریخته گری مرسوم ایجاد می کند.

پدیده میکرو جدایش، جدایش بین بازوهای دندریتی است که حداقل غلظت حل شونده در مرکز بازوهای دندریت و حداکثر غلظت حل شونده در بین بازوهاي آن است. در واقع SDAS معیاری از غیر همگن بودن در تختال های تولید شده با روش ریخته گری مداوم است.

در سیستم ریخته گری تختال نازک از سیستم کاهش مغزی مذاب استفاده شده است.

گرایش بیشتر به تکنولوژی تختال نازک باعث استفاده از تکنولوژی کاهش مغزی مذاب شد. کاهش مغزی مذاب، اجازه می

دهد ضخامت استرند در زیر قالب در حالیکه مغز آن هنوز در حالت مذاب است کاهش یابد. معمولا اولین سگمنت (segment) در سیستم هدایت استرند (strand) تا ضخامت مورد نظر تنظیم می شود. شرکت صاحب تکنولوژی SMS Schloemann-Siemag AG دو طراحی جایگزین برای این سیستم ایجاد کرده است. در گزینه اول ضخامت استرند توسط سیلندرهای هیدرولیک کنترل می شود. در گزینه دوم سیستم پیچیده تر سیلندر هیدرولیک-پیستون تنظیم دقیق ضخامت استرند را بر عهده دارد. سیستم LCR دانیلی این امکان را می دهد که در هر زمانی ضخامت استرند تنظیم شود.

امکان تولید تختال نازک با کاهش ضخامت بیشتر در ریخته گری و نیاز به کاهش ضخامت کمتر در نورد آسانتر است.

بهبود در کیفیت سطحی و داخلی به نحو گسترده ای به ابعاد قالب بزرگتر بستگی دارد که با استفاده از این تکنولوژی قابل دسترسی است. افزایش ابعاد قالب به دلیل توربولانس کمتر، طول قالب بیشتر و سرعت جریان پایین تر است.

حرارت دهی مجدد تختال با استفاده از کوره های تونلی یا القائی با هدف همگن سازی و گرم کردن تختال تا دمای مناسب نورد است. این امر به دلیل آن است که خواص نورد پایدار بماند.

تشکیل پوسته اکسیدی در کوره با کنترل دمای کوره و محیط کنترل می شود لذا در کوره های تونلی کنترل میزان تزریق گاز طبیعی و در کوره های القایی کنترل شدت جریان الکتریکی اهمیت دارند.زمان ماند کوتاهتر در این کوره ها رشد دانه و تشکیل پوسته را محدود می کند. در رابطه با برخی فولادها نظیر گریدهای کربنی پریتکتیکی(Peritectic)یا فولادهای حاوی نیوبیوم (Nb)تشکیل عیوب سطحی رایج است و

این امر تولید این دسته از فولادها را با روش تختال نازک محدود می کند.

در روش های مرسوم ریخته گری تختال، به علت برداشتن لایه ای از روی سطح، عیوب سطحی نیز از روی سطح تختال برداشته می شود.به همین دلیل است که این دسته از فولادها به ترک های مورب حساس بوده و ریخته گری آنها دشواراست.

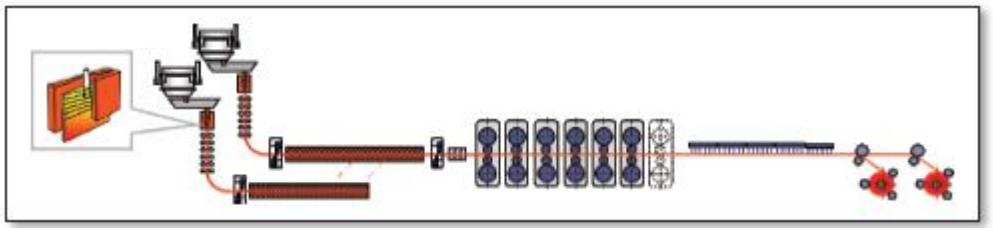
برای دستیابی به ریزساختار و خواص مکانیکی مطلوب، کنترل سرعت خنک کردن بعد از نورد و کنترل دما در حین کویل کردن نیاز است. سرد کردن سریع بعد از نورد رسوب گذاری را تا زمانی که تسمه کویل شود به تعویق می اندازد و باعث می شود توزیع ریزی از رسوبات در کویل ایجاد شود. این تکنیک با استحکام دهی رسوبی در فریت خواص مکانیکی را افزایش می دهد.

## 6. معرفي تكنولوژيهاي تختال نازك:

### 6.1. توليد تختال فشرده (CSP)

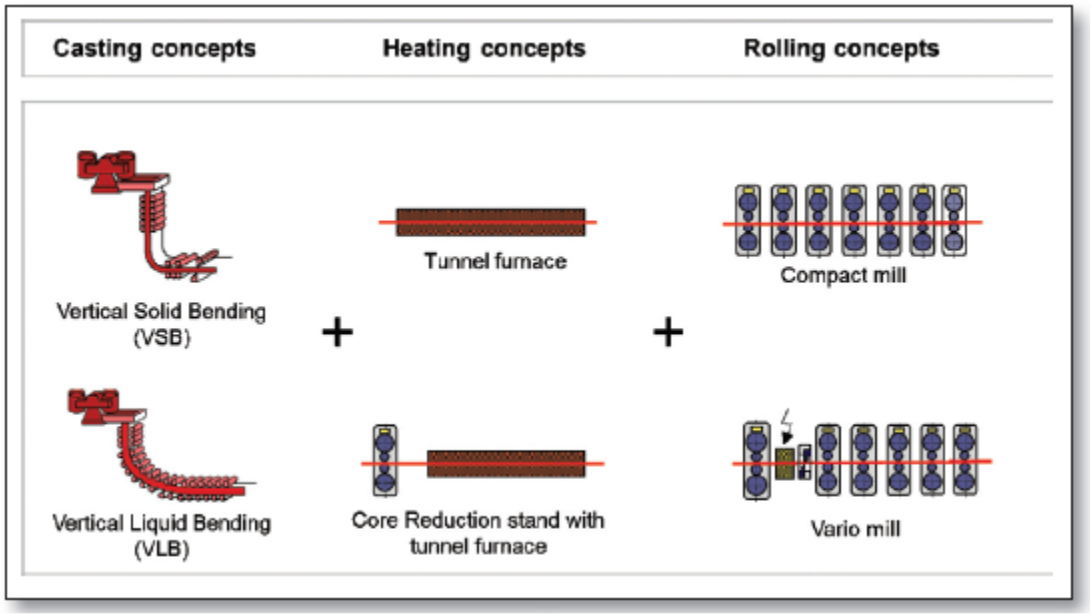
دراین تکنولوژی اسلب با ضخامت 50-90 میلی متر تولید می شود. سرعت ریخته گری بالا 6 متر بر دقیقه برای فولادهای کربنی ساده و3.5 متر بر دقیقه برای سایر گریدهامی باشد.به دلیل محدودیت حفره قالب کوچک این تکنولوژی به سختی می توانست برای فولادهای ریخته گری شده با کیفیت بالا استفاده شود. برای غلبه بر این مشکل قالب قیفی و یک سیستم نازل غوطه وری طراحی شد. طول قالب بزرگتر از حد مرسوم 1100 میلیمتر برای بهبود کیفیت استفاده شد.
این ماشین ریخته گری طراحی عمودی دارد. تختال مستقیما به کوره غلتکی انتقال داده شده تا از ایجاد پوسته اکسیدی جلوگیری شود. بخش پیش نورد در این تکنولوژی نیاز

نیست. این فرایند قادر به تولید فولادهای ساده کربنی در خارج از محدوده پریتکتیکی به دلیل مشکل ایجاد ترک نبود.
در حال حاضر با پیشرفت های بیشتر در زمینه تکنولوژی ریخته گری، امکان ریخته گری فولاد های با کربن بالا بیش از0.55%، فولادهای آلیاژ بالا، HSLA،فولادهاي سيليكوني، گریدهاي لوله و زنگ نزن نیز فراهم شده است. پلنت CSP در HYLSA قادر به تولید تسمه فوق سبک با ضخامت کمتر از 1.2 میلیمتر است.



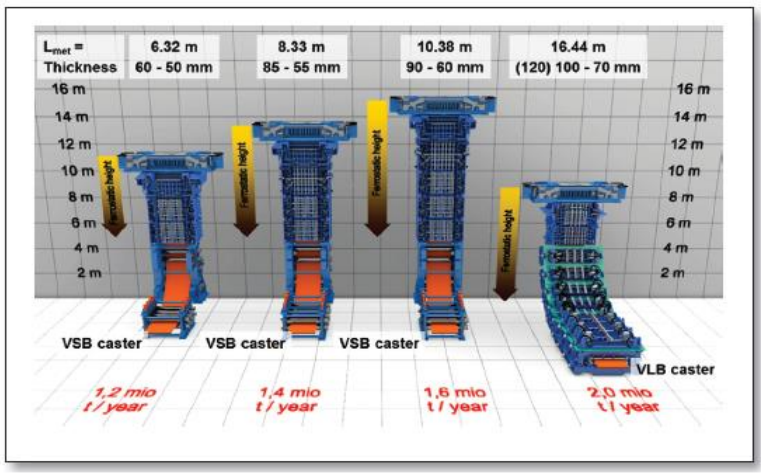
شکل 5. طراحي توليد تختال فشرده با تكنولوژي (CSP)

از سال 1989 تاكنون 29 پلنت بر اساس اين تكنولوژي ساخته شده و از سال 2000 ده پلنت كه از اين تكنولوژي استفاده مي كردند مدرنيزه شدند.
در طول سالهاي گذشته در طراحي اين تكنولوژي تغييراتي ايجاد شد و تكنولوژي جديدتري به نام CSP Flex ايجاد گرديد.




شكل 6. طراحي توليد تختال فشرده با تكنولوژي (CSP Flex)

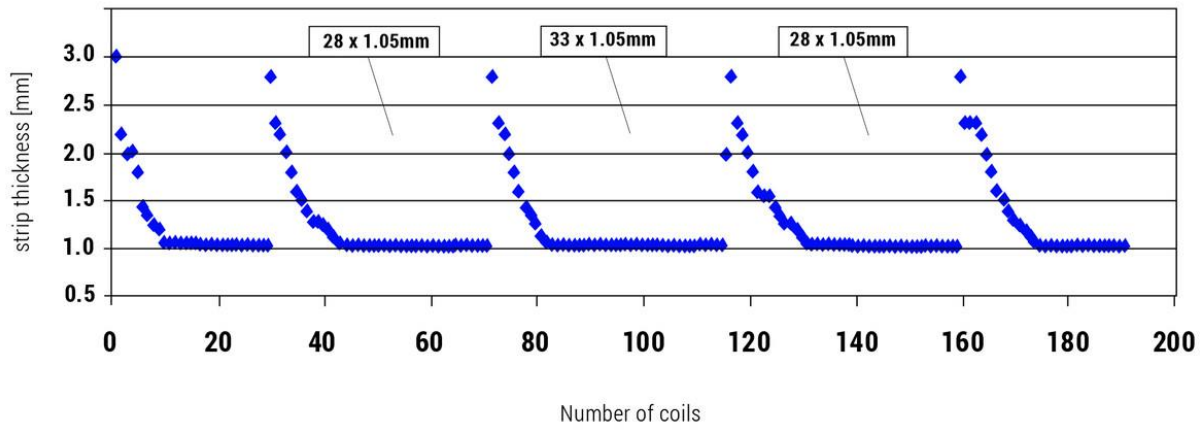
همانطوركه در شكل 6 ملاحظه مي شود تكنولوژي CSP ريخته گري عمودي با مغزي جامد در ناحيه انحناي سيستم ريخته گري است اين بخش در تكنولوژي CSP Flex به ريخته گري با مغزي مذاب در ناحيه انحنا تغيير يافته است. با اين روش طول متالورژيكي قابل توليد افزايش يافته و ميزان توليد براي هر استرند مي تواند به 2 ميليون تن در سال افزايش يابد. (شكل 7)




شكل 7. مقايسه ظرفيت توليد و ارتفاع سيستم ريخته گري در تكنولوي هاي ( CSP و CSP Flex)

در قسمت گرم کردن مجدد به منظور متعادل سازی دمای تختال برای نورد، در تکنولوژي قبلي از کوره تونلي استفاده ميشد در حالي که در تکنولوژي جديد يك سيستم کاهش مغزي مذاب به قبل از کوره تونلي اضافه شده است.

در ناحيه نورد، اولين استند نورد نهايي F1 با فاصله اي 11 متري نسبت به يك استند متوسط قوي به نام M1 قرار گرفته است. در اين فضا يك سيستم پيش تراز کننده براي تراز کردن تسمه و يك سيستم گرم کن القايي قرار گرفته است. دما و زمان ماند در اين فاصله باعث مي شود تبلور مجدد کامل بدون رسوب گذاري زود هنگام ميکرو آلياژها و رشد بيش از حد دانه اتفاق بيفتد. اين امر امکان توليد لوله هاي فولادي API را با اين خط نورد فراهم مي کند.




شکل 8. نمودار پايداري فرايند با ضخامت فوق نازك (آگوست 2011)

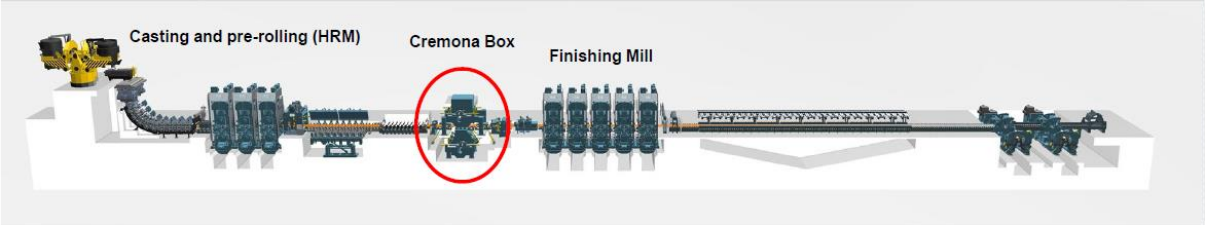
| ردیف | نام پلنت | مکان | ظرفیت | ضخامت | عرض محصول | گرید های تولیدی |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Big River Steel | آمریکا | 3 میلیون تن در سال | 25.4-1.55 میلیمتر | 1930-1200 میلیمتر | Carbon grades, HSLA grades, pipe grades (X70/ X80) Si-grades (GO and NGO) |
| 2 | Wuhan Iron & Steel | چین | 2.5 میلیون تن در سال | 12.7-0.8 میلیمتر | 1600-900 میلیمتر | Carbon steels, dual-phase steels (DP), HSLA steel, Silicon steel (NGO), pipe grades |
| 3 | Tata Steel | هند | 2.4 میلیون تن در سال | 20-1 میلیمتر | 1680-950 میلیمتر | Carbon steels, Si steel, pipe grades, dual-phase |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| steels (DP) | | | | | | |
| Carbon steels, dual-phase steels (DP), HSLA steel, Silicon steel (NGO), pipe grades | 1600-900 میمتر | 12.7-0.8 میلیمتر | 2.5 میلیون تن در سال | آمریکا | Nucor Steel | 4 |

جدول 1. برخي از كارخانه هايي كه ازاين تكنولوژي استفاده می كنند

## 6.2. تکنولوژی ISP تولید تسمه هم خط

این تکنولوژی توسط Mannessmann Demag و تولید کننده لوله و تیوب ایتالیایی Arvedi ابداع شد. نخستین واحد با این تکنولوژی در کرومونا در 1993 ساخته شد.




شکل 9. طراحي توليد تختال نازك با روش (ISP)

سیستم ریخته گری با تکنولوژی کاهش مغزی مذاب به تختال اجازه می دهد که ضخامتش در حالی که مغزی آن مذاب است کاهش یابد. تختال ریخته شده دارای ضخامت 80 تا 60 میلیمتر است. بعد از خروج از ماشین ریخته گری، تختال وارد یک نورد سه استنده شده که در آنجا به ضخامت 15-25 میلیمتر کاهش ضخامت می یابد. تسمه بریده شده سپس وارد کوره گرمکن مجدد و متعادل کننده دما می شود. تسمه مجدد گرم شده سپس در یک کوره به نام Cremona کویل می شود. این کوره تسمه کویل شده را به بخش نورد نهایی می دهد. نورد نهایی چهار استنده بوده که می تواند ضخامت تختال را از 12 الی 1.5 میلیمتر کاهش دهد. این تکنولوژی باعث فشرده شدن پلنت می شود. طول این پلنت 180 متر در مقایسه با 260 متر تکنولوژی CSP است. زمان فرایند 15 تا 30 دقیقه مزیت مهم این تکنولوژی است.

قالب ماشین ریخته گری طراحی عمودی-منحنی داشته و حداکثر عرض تسمه 1300 میلیمتر می باشد. حداکثر سرعت ریخته گری 6 متر بر دقیقه است. گریدهای فولادی که با این روش تولید می شود انواع گریدهای با کشش عمیق، فولادهای ساختمانی آلیاژی و غیر آلیاژی، فولادهای HSLA و فولادهای زنگ نزن فریتی آستنیتی است.

| ردیف | نام پلنت | مکان | ظرفیت | ضخامت | عرض محصول | گرید هاي توليدي |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Arvedi ISP | ایتالیا | 1.2میلیون تن در سال | 12-1 میلیمتر | 1300 میلیمتر | فولادهای ساختمانی آلیاژی و غیر آلیاژی، فولادهای HSLA و فولادهای زنگ نزن فریتی آستنیتی |

جدول 2. برخي كارخانه هايی كه ازاين تكنولوژي استفاده می كنند

### 6.3. تکنولوژی CONROLL

تکنولوژی ترکیب ریخته گری تختال نازک و نورد گرم CONROLL توسط Voest Alpine IndustrieanLagendau (VAI) توسعه داده شد. این تکنولوژی تختال با ضخامت 70-80 میلیمتر را از طریق قالب مستقیم تولید می کند اما سیستم کاهش ضخامت استرند را ندارد. ماشین ریخته گری به گونه ای طراحی شده که می تواند نازل غوطه ور ورودی و تاندیش را تعویض نماید. سرعت ریخته گری آن حدود 2-4 متر بر دقیقه بوده و قادر به تولید عرض 800 تا 1600 میلیمتر می باشد. سیستم ریخته گری به یک کوره متعادل کننده دما متصل شده تا دمای تختال را تا 1120 درجه سانتیگراد تنظیم کند. خط نورد چهار، پنج یا شش استند نورد نهایی بسته به محصول و ضخامت مورد نظراست.سیستم نورد شامل یک سیستم برش، سیستم پوسته زدا با آب فشار بالا، سیستم خنک کن و سیستم کویل کردن است. ضخامت نهایی تختال 1.8 تا 20 میلیمتر است. این تکنولوژی در 1995 درArmco's Mansfield نصب شد. آرمکو با

این تکنولوژی همخوانی داشت زیرا این تکنولوژی اختصاصا برای فولادهای زنگ نزن ایجاد شده بود. گریدهای فولادی شامل فولادهای کربنی، فولادهای زنگ نزن 409، 430 و درصد کمتری فولادهای سیلیکونی، آلیاژ بالا و HSLA می باشد.

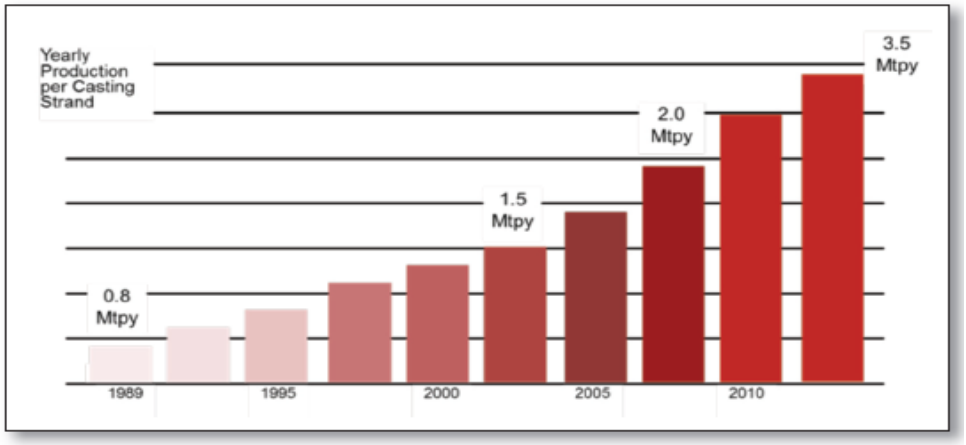
### 6.4. تکنولوژی TSP

این تکنولوژی توسط Tippins Incorporated آمریکا با سازنده سیستم های ریخته گری Samsung Heavy Industries ایجاد شد. این تکنولوژی قادر به تولید فولادهای کم کربن تا کربن بالا، فولادهای زنگ نزن، فولادهای دارای قابلیت کششی ، سیلیکونی ، HSLA، فولادهای API می باشد. یکی از مزایای این روش انعطاف پذیری آن است. این تکنولوژی قادر به تولید محصولات کویل شده، پلیت با عرض و ضخامت مورد نظر است. ریخته گری تختال های با ضخامت متوسط چند مزیت دارد. اولا با توجه به این که تختال به اندازه کافی دارای ضخامت پایین مناسب است نیازی به بخش نورد اولیه ندارد. در عین حال به اندازه کافی ضخیم است تا کیفیت سطحی خوب بماند. ضخامت متوسط این امکان را فراهم می کند که تختال هایی با عرض بیشتر تولید شود و با توجه به ماندن حرارت در تختال زمان گرم کردن مجدد را کوتاه می کند که این باعث کاهش تشکیل پوسته های اکسیدی می شود. سپس تختال وارد کوره گرم کن شده و زمان ماند آن برای رسیدن به دمای 1250 درجه حدود 12 الی 13 دقیقه است. وقتی که اسلب در فرایند نورد به ضخامت 20 الی 25 رسید در کوره هایی کویل شده تا دما ی تختال حفظ شود. این تختال به صورت رفت و برگشتی در خط نورد حرکت می کند. در مجموع سه عملیات نورد و شش

عملیات کویل کردن نیاز است تا ضخامت تختال به 1.5 میلیمتر برسد.

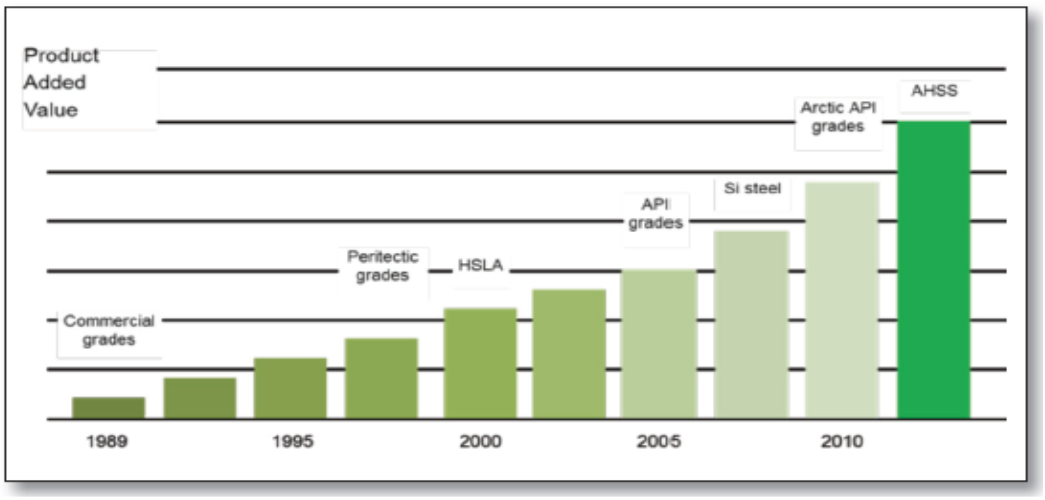
### 6.5. تکنولوژي هاي دانیلي در زمینه تولید تختال نازك

در 20 سال گذشته، دانیلی مجموعه اي از راه حل های تکنولوژیکی برای ریخته گري تختال نازك توسعه داده است. این راه حل ها منجر به افزایش میزان تولید از 0.8 میلیون تن در سال 1989 تا بیش از 2 میلیون تن در سال 2010 در پوسکو با رکورد سرعت ریخته گري 8 متر بر دقیقه و سرعت متوسط روزانه 7 متر بر دقیقه شده است.




شکل 10. تولید سالانه تختال نازك به ازاي هر استرند

در حال حاضر، تقریبا امکان تولید تمام محصولات تخت توسط ریخته گری تختال نازک امکان پذیر شده است.




شكل 11. گريدهاي توليدي توسط تكنولوژي تختال نازك دانيلي

از سال 1997 كارخانه اسار آلگوماي كانادا لقب اولين كارخانه در جهان را از آن خود ساخت كه با استفاده از تكنولوژی ريخته گري تختال نازك و نورد اقدام به توليد گريدهاي فولادي پريتكتيك نمود. اين مجتمع توليد گريدهاي HSLA با استحكام تسليم 700 MPa را توسعه داده است.

شركت آهن و فولاد بنسكي با موفقيت اقدام به توليد فولادهاي الكتريكي با مقدار Si بالاي 3.2 درصد نموده است و OMK روسيه از اين تكنولوژي برای توليد گريدهاي لوله با كيفيت بالا مانند API X70 و X80 استفاده مي كند.
در زمينه ريخته گری تختال نازک و نورد، شركت دانيلي سه نوع تكنولوژي را توسعه داده است كه عبارتند از:
QSP (توليد تسمه با كيفيت)، fTSR (نورد تختال نازك انعطاف پذير) و ETR (نورد فوق العاده نازك).
گريدهاي محصول شامل تقريبا تمام فولاد هاي مورد استفاده برای كاربرد محصول تخت می باشد. اين گريدها شامل فولادهاي پريتكتيك، ميكرو آلياژي و فولاد آلياژی سيليكون براي كاربردهايي نظير صنايع خودرو و خطوط توليد لوله و كاربردهايي براي توليد تسمه فوق نازك است.

ريخته گري تختال نازك يک طراحی منحنی عمودی است که از فرايند کاهش آرام ديناميکي استفاده مي کند. اين فرايند امکان انتخاب ضخامت تختال را فراهم مي کند.

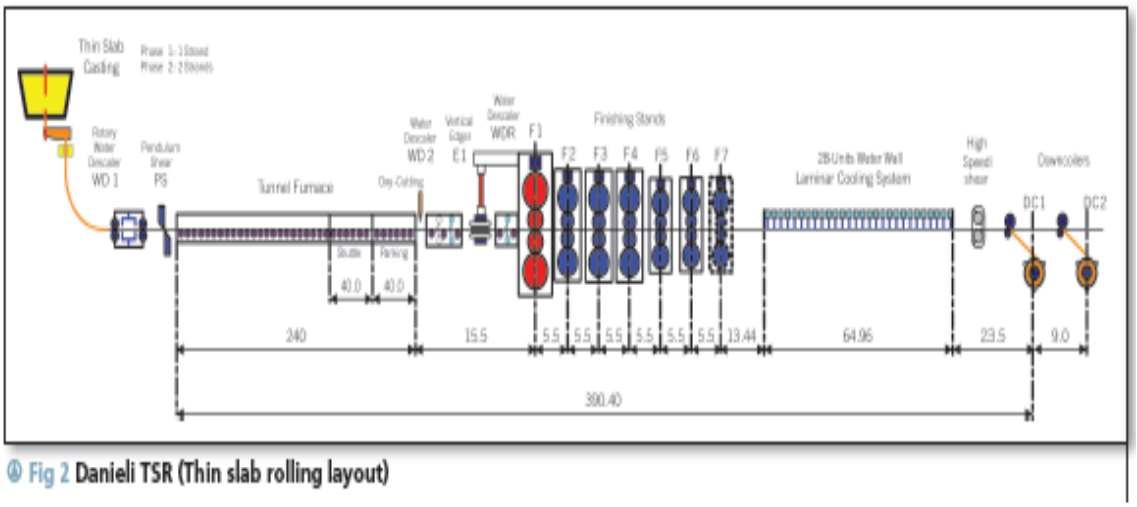


Fig 2 Danieli TSR (Thin slab rolling layout)

شکل 12. تکنولوژي نورد تختال نازك TSR

تکنولوژي QSP

تکنولوژي QSP براي توليد با ظرفيت هاي بيش از 3 ميليون تن در سال در جايي که کيفيت داخلي و ابعادي تختال مد نظر است استفاده مي شود. اين تکنولوژي براي پلنتهايي طراحي شده که اسلب ضخيم تر (تا 100 ميليمتر) را توليد نموده و تنها با يك استرند ريخته گري مي خواهند به ظرفيت 2 ميليون در سال برسند. در رابطه با گريد هاي بالاتر اين تکنولوژي از نورد دو مرحله اي و نورد ترمومکانيکي استفاده مي کند. استفاده از تختال 100 ميليمتري و کنترل دما امکان نصب هشت استند نورد را در اين تکنولوژي فراهم مي سازد.

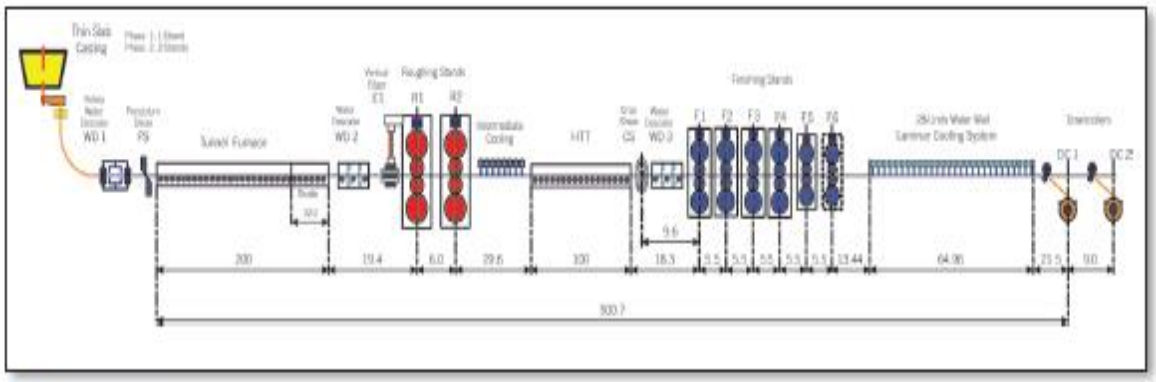


Fig 3 QSP layout

شكل 13. تكنولوژي QSP

| ردیف | نام پلنت | مکان | ظرفیت | عرض محصول | گرید هاي توليدي |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Dongbu Steel | کره جنوبي | 2.6 ميليون تن در سال | 1650-800 ميليمتر | ULC, LC, MC, HC, Peritectic, HSLA for automobile and pipe applications. |
| 2 | POSCO | کره جنوبي | 1.8 ميليون تن در سال | 1600 ميليمتر | HR coil |
| 3 | MMK-Atakas | تركيه | 2.4 ميليون تن در سال | 1570-800 ميليمتر | |
| 4 | OMK | روسيه | 1.2 ميليون تن در سال | 850-1850 ميليمتر | LC, MC, PE, HSLA, API grades (up to X70 for arctic applications and K52 for sour service |

جدول3. برخي كارخانه هايي كه ازاين تكنولوژي استفاده مي كنند

## تكنولوژي fTSR

نسخه فشرده تر QSP تكنولوژي fTSR است. با اين روش هزينه سرمايه گذاری كاهش می يابد. اين تكنولوژي كوتاهتر از QSP است. در اين پلنت نوردهاي اوليه و نهايي به صورت پشت سر هم به يكديگر كوپل شده اند. fTSR بسياری از مزايای QSP را در يك جانمايي فشرده تر مي دهد. محدوديت اين روش عدم توان توليد گريدهاي خاص مانند گريد API X70-X80 است كه در نواحي بسيار سردسير كاربرد داشته و برای توليد آن به فرايند ترمو مكانيكي خاصی نياز می باشد. اين تكنولوژي نسبت به QSP ضخامت پايين تري داشته كه معمولا 70 ميليمتر با امكان رسيدن به 85 ميليمتر است. از سوي ديگر به دليل فشردگي پلنت اين تكنولوژي قابليت

توليد محصولات نيمه نهايي براي توليد محصولات فوق سبك 0.8 ميليمتري در هفت استرند را دارا مي باشد.

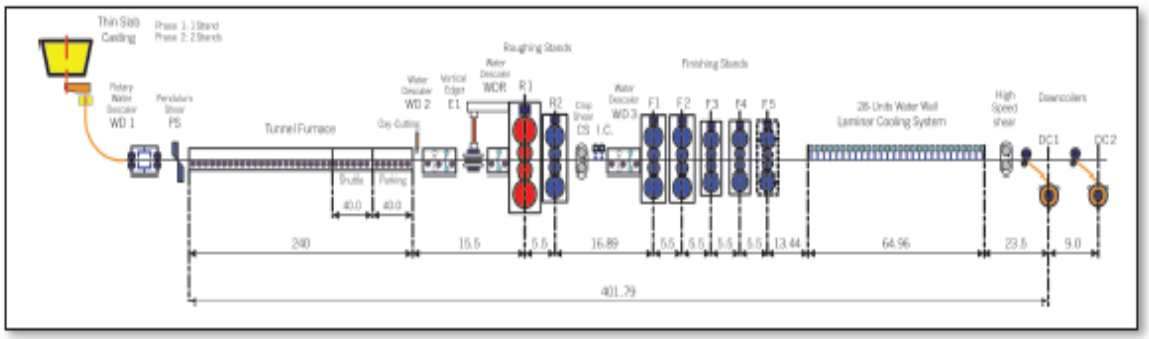


Fig 7 fTSR layout

شكل 14. تكنولوژي fTSR

| رديف | نام پلنت | مكان | ظرفيت | عرض محصول | گريد هاي توليدي |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | MMK Metalurji | تركيه | 2.3 ميليون تن در سال | 1570-800 ميليمتر | ULC, LC, MC, HC, Peritectic, HSLA for automobile and pipe applications. |
| 2 | DongBu | كره | 2.5 ميليون تن در سال | | |
| 3 | Tong Hua, Benxi & Bao Steel | چين | | | |
| 4 | Severstal Lucchini | ايتالـيا | 1.7 ميليون تن در سال | 1829 ميليمتر | |

جدول4. برخي كارخانه هايي كه ازاين تكنولوژي استفاده مي كنند

## تكنولوژي ETR

اين تكنولوژي بسيار فشرده امكان نورد مداوم توليد تختال فوق نازك با ضخامت تا 0.8 ميليمتر را فراهم مي سازد. اگر ضخامت تختال 80 ميليمتر در نظر گرفته شود با سرعت ريخته گري بالاى 7 متر بر دقيقه ميزان توليد بيش از 2 ميليون تن در سال خواهد بود. اين امر تكنولوژي را براي توليد تختال هاي نازك و فوق نازك تا 0.8 ميليمتر مناسب مي سازد.

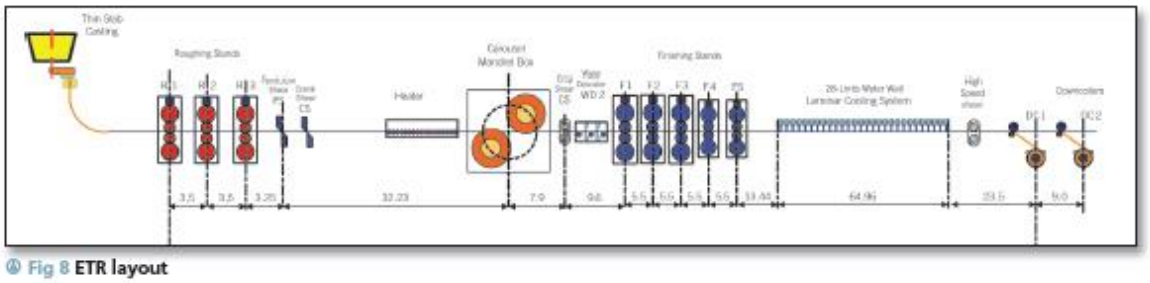


Fig 8 ETR layout

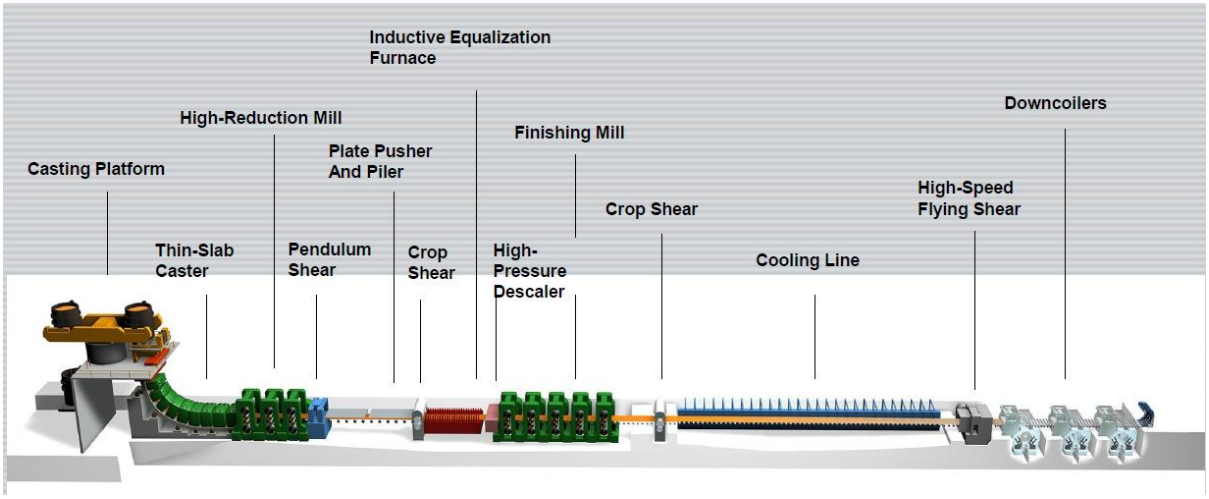
شكل 15. تكنولوژي ETR

| رديف | نام پلنت | مكان | ظرفيت | سرعت ريخته گري | عرض محصول | گريد هاي توليدي |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Posco | كره جنوبي | 1.8 ميليون تن در سال | بيش از 7 متر بر دقيقه | 1300ميليمتر | ULC, LC, MC, HC, Peritectic, HSLA for automobile and pipe applications. |

جدول5. برخي كارخانه هايي كه ازاين تكنولوژي استفاده مي كنند

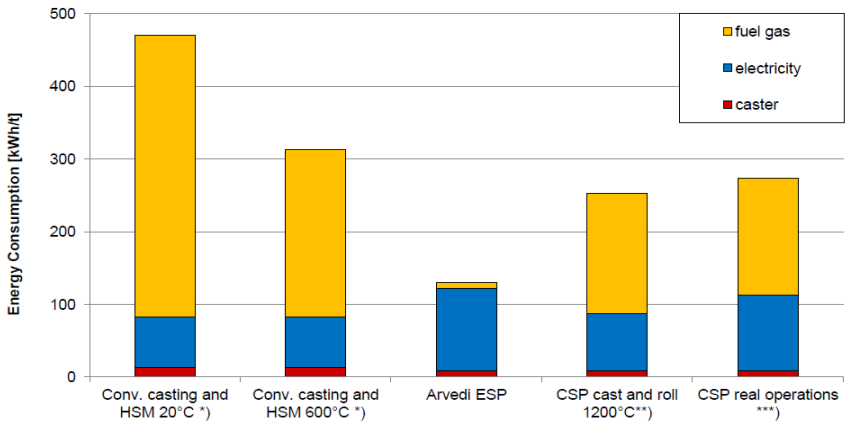
## 6. تكنولوژيESP

نخستين پلنت با تكنولوژي ESP در ايتاليا با ظرفيت توليد 2.3 ميليون تن در سال راه اندازي گرديد. محدوده ابعادي محصول توليدي 1570 ميليمتر و ضخامت تا 0.8 ميليمتر مي باشد. اين پلنت قادر به توليد محصولاتي از فولادهاي كربني، فولادهاي كم آلياژ با استحكام بالا (HSLA)، گريدهاي API، فولادهاي دوفازي و گريدهاي سيليكوني مي باشد.



شکل 16. تکنولوژي Arvedi ESP

در طي سالهاي 2013 و 2014، Rizhao Steel احداث پنج خط از اين تکنولوژي را براي افزايش توليد تسمه نورد گرم شده نازك درخواست نمود. اولين پلنت چيني شامل سه خط و هر کدام با ظرفيت توليد سالانه 2.55 ميليون تن در سال تسمه گرم فوق نازك با عرضي در محدوده 900 تا 1600 ميليمتر دارد. خطوط 4 و 5 با عرضي در حدود 900 تا 1300 ميليمتر جايگزين تجهيزات قديمي پلنت موجود خواهد شد. ضخامت تسمه ها حداقل 0.8 ميليمتر است. فولاد مذاب در اين تکنولوژی به تختال نازک تبديل شده و پس از خروج از قالب با استفاده از سيستم مغزی مذاب ضخامت آن کاهش می يابد سپس در دمای بالا نورد شده و ضخامت آن تا يک ضخامت متوسط کاهش می يابد. سيستم برش پاندولی دامی بار را از تختال جدا می کند.اين بخش شامل سه يا چهار استند است.در اين تکنولوژی از کوره القايی به جای کوره تونلی استفاده شده که مزيت آن کاهش طول و مصرف گاز طبيعی است. اما مصرف انرژی الکتريکی آن نسبت به تکنولوژی های ديگر بالاتر می باشد و تعميرات پيچيده تری دارد. بعد از حرارت دهی مجدد و رسيدن به دمای مناسب نورد تختال وارد مرحله نهايی نورد شده و کويل می شود.



شکل 17. مقايسه انرژي براي تکنولوژي هاي مختلف توليد تسمه نورد گرم شده

| ردیف | نام پلنت | مکان | ظرفیت | ضخامت | عرض محصول | گرید هاي توليدي |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Arvedi ESP | ایتالیا | 2.3 میلیون تن در سال | 12-0.8 میلیمتر | 1570 میلیمتر | Carbon steels, high-strength low alloyed (HSLA)grades, API grades, dual phase steels and silicon grades |
| 2 | RIZHAO 1 | چین | 2.55 میلیون تن در سال | زیر 0.8 میلیمتر | 1600 میلیمتر | Carbon steels, high-strength low alloyed (HSLA) grades, API grades, dual phase steels and silicon grades. |
| 3 | RIZHAO 2 | چین | 2.55 میلیون تن در سال | زیر 0.8 میلیمتر | 1600 میلیمتر | Carbon steels, high-strength low alloyed (HSLA) grades, API grades, dual phase steels and silicon grades. |
| 4 | RIZHAO 3 | چین | 2.55 میلیون تن در سال | زیر 0.8 میلیمتر | 1600 میلیمتر | Carbon steels, high-strength low alloyed (HSLA) grades, API grades, dual phase steels and silicon grades. |
| 5 | RIZHAO 4 | چین | 1.7 میلیون تن در سال | زیر 0.8 میلیمتر | 1300 میلیمتر | Carbon steels and high-strength low alloyed (HSLA) grades |
| 6 | RIZHAO 5 | چین | 1.7 میلیون تن در سال | زیر 0.8 میلیمتر | 1300 میلیمتر | Carbon steels and high-strength low alloyed (HSLA) grade |

جدول6. برخي كارخانه هايي كه ازاين تكنولوژي استفاده مي كنند

## 7. نتيجه گيري

در انتخاب تكنولوژي هاي مناسب براي يك پلنت توجه به موارد ذيل مد نظر از اهميت خاصی برخوردار است:

- ظرفيت كارخانه (آيا تكنولوژی برای ظرفيت های توليد بالا مناسب است يا ظرفيت توليد پايين)
- انتخاب نوع محصول
- نرخ مصارف انرژي

با توجه به قيمت منابع انرژی (گاز طبيعی، برق) در كشور هزينه توليد در هر يک از تكنولوژی ها چقدر بوده و كدام تكنولوژی مصرف پايين تری دارد

- نرخ مصرف آب

با توجه به بحث كمبود آب كداميک از تكنولوژی ها در مصرف آب صرفه جويی بيشتری خواهد داشت

- تسهیلات زیر بنایي و سرمایه گذاری مورد نیاز برای پروژه های مربوطه به تامین منابع
- طراحی خط
- میزان آماده بکاری خط
- برنامه های پیشنهادی سازنده و هزینه های مربوط به نگهداری و تعمیرات
- هزینه هاي تولید
- هزینه هاي سرمایه گذاري
- جنبه هاي زیست محیطي

کدام یک از تکنولوژی ها آلاینده های کمتری تولید می کنند در رابطه با این فرایند میزان NOx, CO2 و SOx از اهمیت بیشتری برخوردار است.

- فضای مورد نیاز
- وزن سازه فلزی مورد نیاز

**References:**


1. The Influence of Microalloy Elements on the Hot Ductility ofThin Slab Cast Steel,Kristin Carpenter, PHD Thesis, The University of Wollongong
2. 4th generation of thin slab casting technology – present and future, MPT International 4/2011
3. Strategic Importance of Thin-Slab-Casting Technology, Michael Korchynsky, The International Symposium on Thin-Slab Casting and Rolling Guangzhou, China December 3-5, 2002
4. The evolution of thin slab casters:from first pioneering experiences to ultra-high speed casting, Mike Knights and Marcellino Fornasier, Millenium Steel India, 2014
5. New Generation of TSCR (Thin Slab Casting Rolling) plants: breaking all present parameters in CAPEX and OPEX for a given market and product mix. Facts and Experiences., Dr. Carlo P. PIEMONTE, Danieli Wean United, 8th Steel Success Strategies, November 2010, London
6. From CSP ® to CSP® flex: the new concept for thin slab technology, Christian Bilgen, Christoph Klein, Christian Klinkenberg and Jürgen Müller, Millennium Steel 2012
7. SMS group thin slab technology, https://www.sms-group.com/plants/all-plants/csp-technology/
8. ARVEDI ESP Process – An ultimate technology connecting casting and rolling endless mode, Sergey Bragin, Axel Rimnac, Andrea Bianchi, Christian Bernhard
9. ESP product, Acciaieria Arvedi SpA, Cremona, 9th October 2013