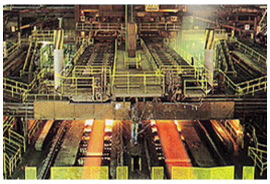
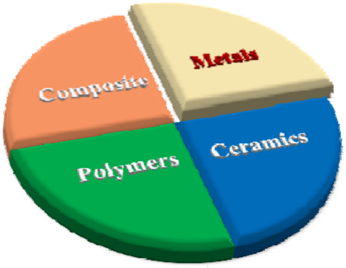
Iron and Steel Industry

Jariyaporn Saothong, (Ph.D.)

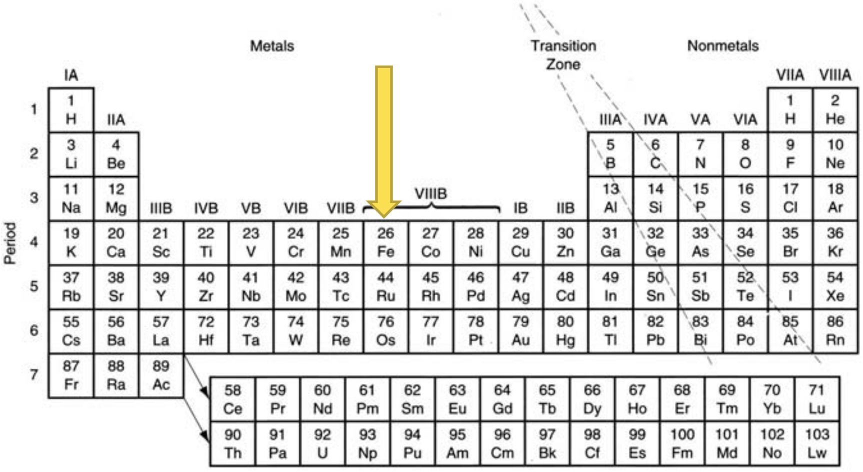


Four Types of Materials in Industries



Ferrous **- those based on iron**
- **Steels**
- **Cast irons**

Periodic Table



Periodic Table of Elements.

Atomic number and symbol are listed for the 103 elements.

Property of Ferrous

- High stiffness and strength - can be alloyed for high rigidity, strength, and hardness มีความแข็งแรงสูง
- Toughness - capacity to absorb energy better than other classes of materials มีความเหนียว
- Good electrical conductivity - Metals are conductors เป็นตัวนำไฟฟ้า
- Good thermal conductivity - conduct heat better than ceramics or polymers นำความร้อนได้ดี
- Cost – the price of steel is very competitive with other materials ราคาถูกเมื่อเทียบกับวัสดุอย่างอื่น
- They have properties that satisfy a wide variety of design requirements มีคุณสมบัติที่สามารถประยุกต์ใช้กับงานได้หลากหลาย

Iron as a Commercial Product

- Electrolytic iron - the most pure, at about 99.99%, for research and other purposes where the pure metal is required
- Ingot iron - contains about 0.1% impurities (including about 0.01% carbon), used in applications where high ductility or corrosion resistance are needed
- Wrought iron - contains about 3% slag but very little carbon, and is easily shaped in hot forming operations such as forging

Steel and Cast Iron Defined

- **Steel** เหล็กกล้า = an iron-carbon alloy containing from 0.02% to 2.1% carbon
- **Cast iron** เหล็กหล่อ = an iron-carbon alloy containing from 2.1% to about 4% or 5% carbon
- Steels and cast irons can also contain other alloying elements besides carbon

ต่างก็มี Fe เป็นองค์ประกอบ แต่แตกต่างที่ปริมาณ C

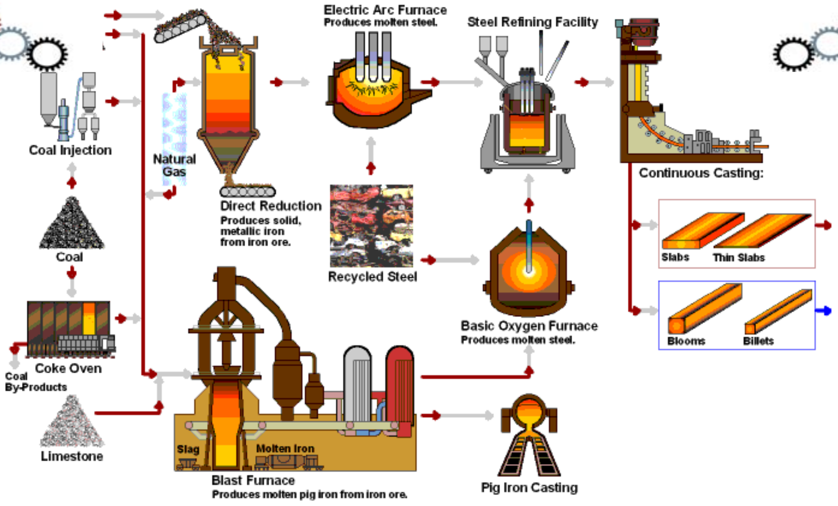
Iron and Steel Production

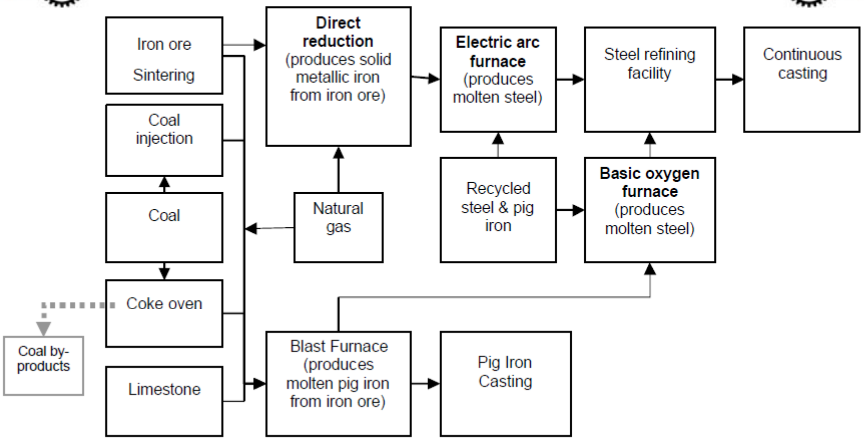
- **Iron making** - iron is reduced from its ores

  เป็นการเอาเหล็กออกมาจากแร่เหล็ก

- **Steel making** – iron is then refined to obtain desired purity and composition (alloying)

  เป็นการที่นำเหล็กที่ได้มาทำให้บริสุทธิ์ยิ่งขึ้น หรือควบคุมส่วนประกอบมากขึ้นเพื่อที่จะได้คุณสมบัติที่ต้องการ





Iron Ores Required in Iron-making

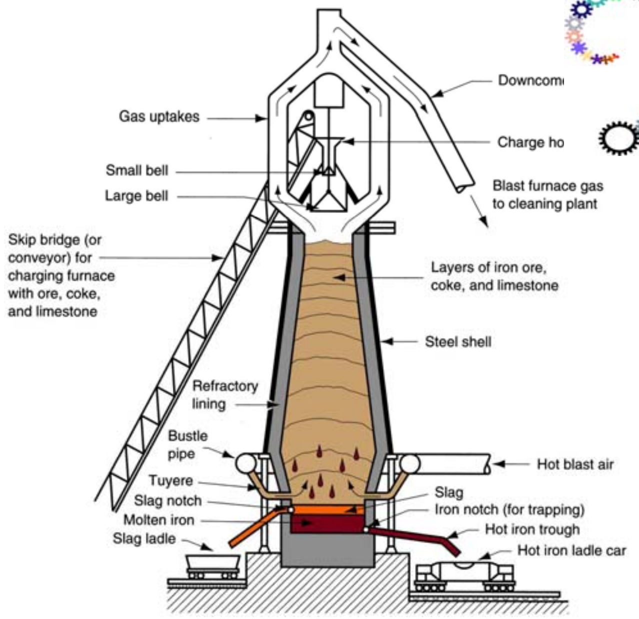
- The principal ore used in the production of iron and steel is ***hematite*** **(Fe_2O_3)** (almost 70% iron)
- Other iron ores include ***magnetite*** **(Fe_3O_4),** ***siderite*** **($FeCO_3$)**, and ***limonite*** **(Fe_2O_3-1.5H_2O)**
- Iron ores contain from 50% to around 70% iron, depending on grade
- Scrap iron and steel are also widely used today as raw materials in iron- and steel making

Other Raw Materials in Iron-making

- Coke (C)
  - Supplies heat for chemical reactions and produces carbon monoxide (CO) to reduce iron ore
- Limestone ($CaCO_3$)
  - Used as a flux to react with and remove impurities in molten iron as slag
- Hot gases (CO, H_2, CO_2, H_2O, N_2, O_2, and fuels)
  - Used to burn coke

Iron-making in a Blast Furnace

- Blast furnace - a refractory-lined chamber with a diameter of about 9 to 11 m (30 to 35 ft) at its widest and a height of 40 m (125 ft)
- To produce iron, a charge of ore, coke, and limestone are dropped into the top of a blast furnace
- Hot gases are forced into the lower part of the chamber at high rates to accomplish combustion and reduction of the iron



Cross-section of iron-making blast furnace showing major components

Chemical Reactions in Iron-Making

- Using hematite as the starting ore:
  - $Fe_2O_3 + CO \rightarrow 2FeO + CO_2$
- CO_2 reacts with coke to form more CO:
  - $CO_2 + C$ (coke) $\rightarrow 2CO$
- This accomplishes final reduction of FeO to iron:
  - $FeO + CO \rightarrow Fe + CO_2$

Proportions of Raw Materials In Iron-Making

- Approximately seven tons of raw materials are required to produce one ton of iron:
  - 2.0 tons of iron ore
  - 1.0 ton of coke
  - 0.5 ton of limestone
  - 3.5 tons of gases
- A significant proportion of the byproducts are recycled

Iron from the Blast Furnace

- Iron tapped from the blast furnace contains over 4% C, plus other impurities: 0.3-1.3%**(called *pig iron*)** Si, 0.5-2.0% Mn, 0.1-1.0% P, and 0.02-0.08% S
- Further refinement is required for cast iron and steel
  - A furnace called a ***cupola*** is commonly used for converting pig iron into gray cast iron
  - For steel, compositions must be more closely controlled and impurities brought to much lower levels

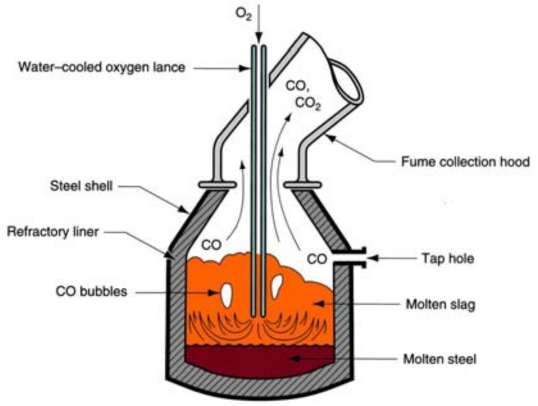
Steel-making

- Since the mid-1800s, a number of processes have been developed for refining pig iron into steel
- purpose of steel-making operations is to refine the pig iron which contains large amounts of carbon and other impurities.
- Today, the two most important processes are
  - **Basic oxygen furnace (BOF)**
  - **Electric furnace**
- Both are used to produce carbon and alloy steels

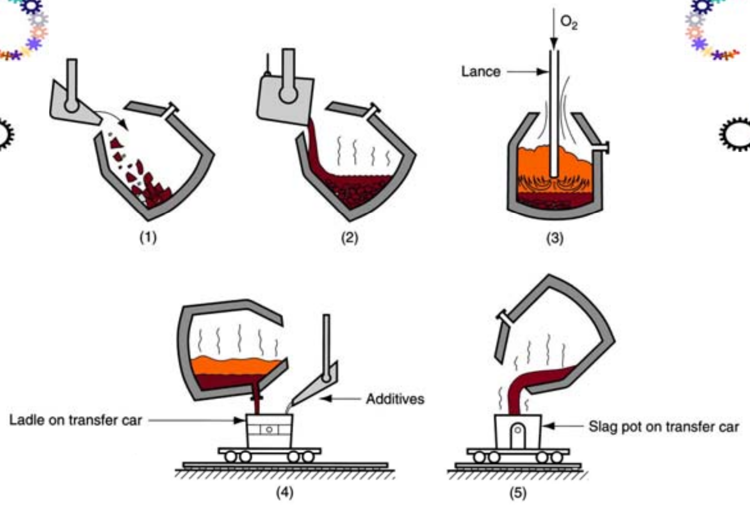
Basic Oxygen Furnace (BOF)

- Accounts for ~ 70% of steel production in U.S
- Adaptation of the Bessemer converter
  - Bessemer process used **air blown up through the molten pig iron to burn off impurities**
  - BOF uses pure oxygen
- Typical BOF vessel is ~ 5 m (16 ft) inside diameter and can process 150 to 200 tons per heat
  - Cycle time (tap-to-tap time) takes ~ 45 min

Basic Oxygen Furnace



Basic oxygen furnace showing BOF vessel during processing of a heat.

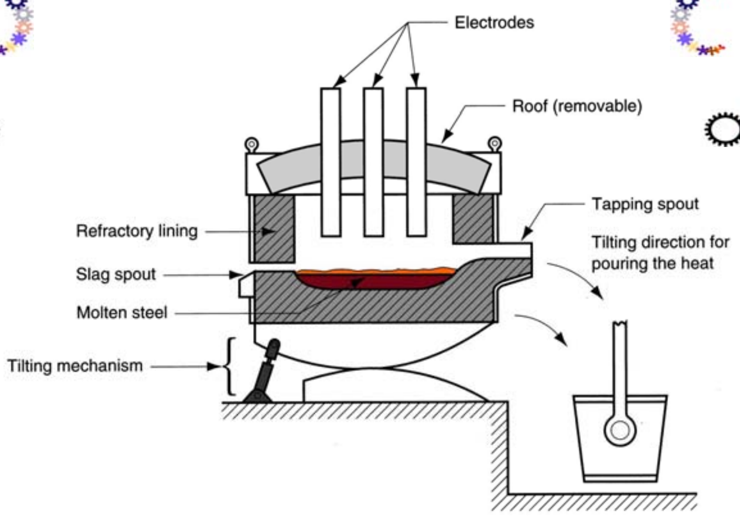


BOF sequence : (1) charging of scrap and (2) pig iron, (3) blowing, (4) tapping the molten steel, (5) pouring off the slag.

Electric Arc Furnace

- Accounts for ~ 30% of steel production in U.S.
- **Scrap iron and scrap steel** are primary raw materials
- Capacities commonly range between 25 and 100 tons per heat
- Complete melting requires about 2 hr; tap-to-tap time is 4 hr
- Usually associated with production of alloy steels, tool steels, and stainless steels
- Noted for better quality steel but higher cost per ton, compared to BOF

ใช้เวลาในการผลิตเหล็กมากกว่าเตา BOF ปริมาณที่ได้ก็น้อยกว่า แต่คุณภาพของเหล็กดีกว่า



Electric arc furnace for steelmaking

Casting Processes in Steel-making

Steels produced by BOF or electric furnace are solidified for subsequent processing either as cast ingots or by continuous casting

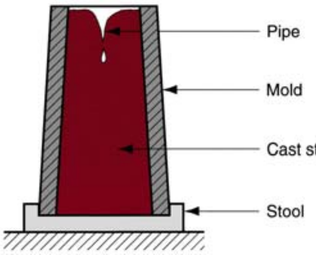
- Casting of ingots – a discrete production process
- Continuous casting – a semi-continuous process

Casting of Ingots

Steel *ingots* = discrete castings weighing from less than one ton up to ~ 300 tons (entire heat)

- Molds made of high carbon iron, tapered at top or bottom for removal of solid casting
- The mold is placed on a platform called a *stool*

  After solidification the mold is lifted, leaving the casting on the stool

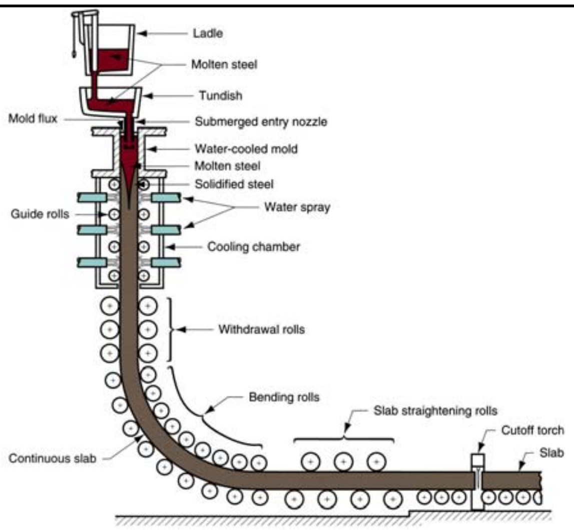


A big-end-down ingot mold typical of type used in steelmaking.

Continuous Casting

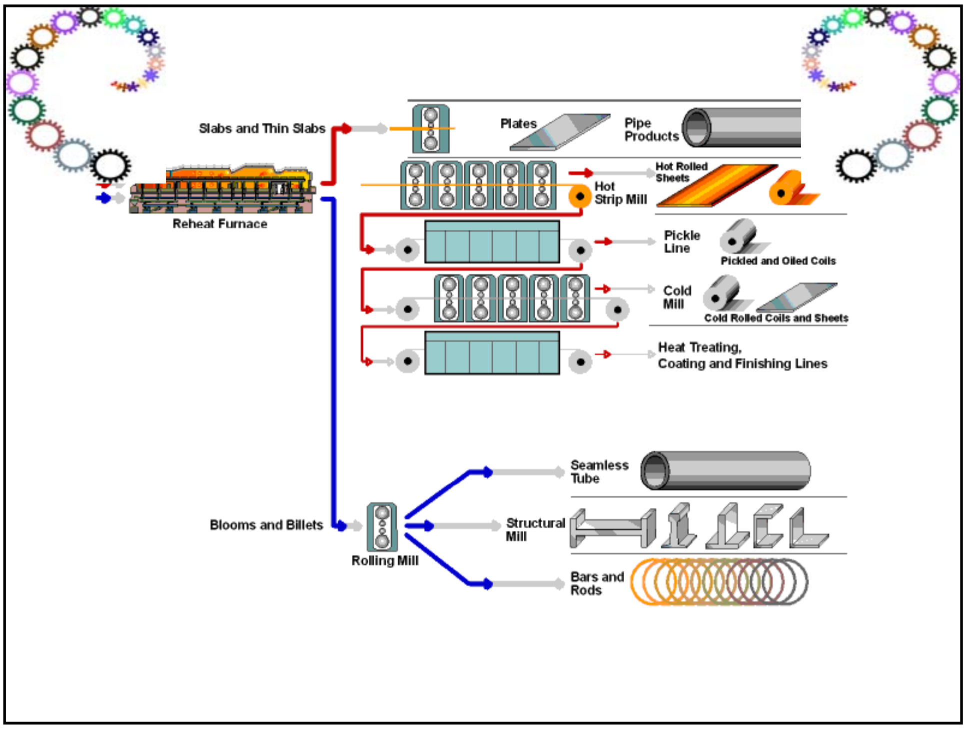
- Continuous casting is widely applied in aluminum and copper production, but its most noteworthy application is steel-making
- Dramatic productivity increases over ingot casting, which is a discrete process
- For ingot casting, 10-12 hr may be required for casting to solidify
- Continuous casting reduces solidification time by an order of magnitude

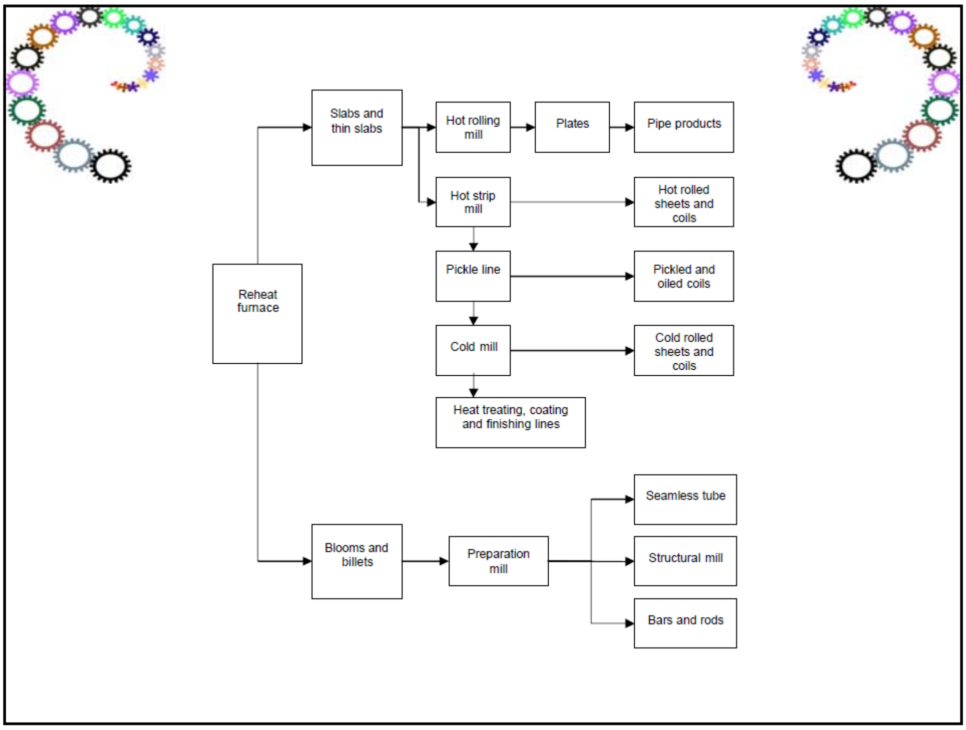
สามารถผลิตได้มากกว่าแบบไม่ต่อเนื่อง เพราะเวลาที่ใช้ในการแข็งตัวน้อยกว่า

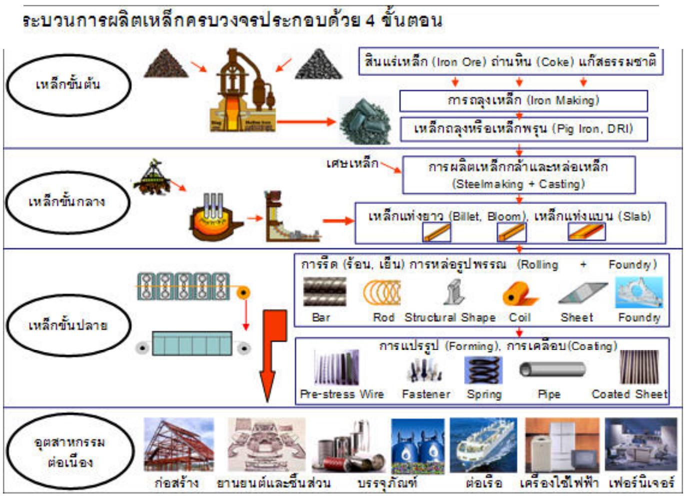


Continuous casting.

Steel is poured into tundish and flows into a water-cooled continuous mold; it solidifies as it travels down in mold. Slab thickness is exaggerated for clarity.


Slabs and Thin Slabs
Reheat Furnace
Plates
Pipe Products
Hot Rolled Sheets
Hot Strip Mill
Pickle Line
Pickled and Oiled Coils
Cold Mill
Cold Rolled Coils and Sheets
Heat Treating, Coating and Finishing Lines
Seamless Tube
Blooms and Billets
Rolling Mill
Structural Mill
Bars and Rods


Reheat furnace
Slabs and thin slabs
Hot rolling mill
Plates
Pipe products
Hot strip mill
Hot rolled sheets and coils
Pickle line
Pickled and oiled coils
Cold mill
Cold rolled sheets and coils
Heat treating, coating and finishing lines
Blooms and billets
Preparation mill
Seamless tube
Structural mill
Bars and rods



Steel

- An alloy of iron containing from 0.02% and 2.11% carbon by weight
- Often includes other alloying elements: nickel, manganese, chromium, and molybdenum
- Steel alloys can be grouped into four categories:
  1. Plain carbon steels
  2. Low alloy steels
  3. Stainless steels
  4. Tool steels

Plain Carbon Steels

1. Low carbon steels - contain less than 0.20% C

   Applications: automobile sheetmetal parts, plate steel for fabrication, railroad rails
2. Medium carbon steels - range between 0.20% and 0.50% C

   Applications: machinery components and engine parts such as crankshafts and connecting rods
3. High carbon steels - contain carbon in amounts greater than 0.50%

   Applications: springs, cutting tools and blades, wear-resistant parts

Low Alloy Steels

Iron-carbon alloys that contain additional alloying elements in amounts totaling less than ~ 5% by weight

- Mechanical properties superior to plain carbon steels for given applications
- Higher strength, hardness, hot hardness, wear resistance, toughness, and more desirable combinations of these properties
- Heat treatment is often required to achieve these improved properties

Stainless Steel (SS)

- Highly alloyed steels designed for corrosion resistance
- Principal alloying element is chromium, usually greater than 15%
- Cr forms a thin impervious oxide film that protects surface from corrosion
- Nickel (Ni) is another alloying ingredient in certain SS to increase corrosion protection
- Carbon is used to strengthen and harden SS, but high C content reduces corrosion protection since chromium carbide forms to reduce available free Cr

Properties of Stainless Steels

- In addition to corrosion resistance, stainless steels are noted for their combination of strength and ductility
- While desirable in many applications, these properties generally make stainless steel difficult to work in manufacturing
- Significantly more expensive than plain C or low alloy steels

Tool Steels

A class of (usually) highly alloyed steels designed for use as industrial cutting tools, dies, and molds

- To perform in these applications, they must possess high strength, hardness, hot hardness, wear resistance, and toughness under impact
- Tool steels are heat treated

Cast Irons

- Iron alloys containing from 2.1% to about 4% carbon and from 1% to 3% silicon
- This composition makes them highly suitable as casting metals
- Tonnage of cast iron castings is several times that of all other cast metal parts combined, excluding cast ingots in steel-making that are subsequently rolled into bars, plates, and similar stock
- Overall tonnage of cast iron is second only to steel among metals

Types of Cast Irons

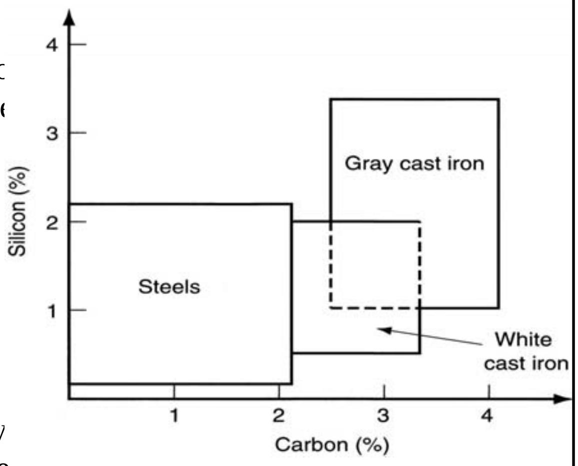
- Most important is *gray* cast iron
- Other types include *ductile* iron, *white* cast iron, *malleable* iron, and various alloy cast irons
- *Ductile* and *malleable* irons possess chemistries similar to the *gray* and *white* cast irons, respectively, but result from special processing treatments

Cast Iron Chemistries

Carbon and silicon % for cast irons, compared tc steels (most steels havε relatively low Si % - cast steels have higher Si %).

Ductile iron is formed by special melting and pouring treatment of gray cast iron.

Malleable iron is formed by heat treatment of white cast iron.



Safety and Health in the Iron and Steel Industry

- General
  - Furnaces may cause glare that **can injure the eyes**
  - Manual operations such as furnace bricklaying and hand-arm vibration from using pneumatic tools **may cause ergonomic problems**
  - Only authorized person should be allowed near furnace
  - Effectiveness and adequacy of the exhaust ventilation system
  - UV and infrared light resistant goggles or face shield should be provide for the visual inspection of furnace
  - Provide warning of level of dangerous gases
  - Provide self-contained breathing apparatus
  - Provide Personal protective equipment (PPE)

- Molten metal resistant jacket and trousers
- Molten metal resistant gloves
- Face shields or vented goggles
- Safety footwear insulated against heat
- Protective helmet
- Hearing protection
- Eye protection

Preventing fire and explosions

1. Fires and explosions in furnaces most often result from water coming into contact with molten metal. The water may be present in scrap material, damp moulds, from leaks in the furnace cooling systems or leaks in the building.

   ไฟและการระเบิดในเตาส่วนมากมักจะเกิดจากน้ำเข้าไปในโลหะเหลว น้ำซึ่งอาจจะมาจากเศษเหล็ก ความชื้นของแม่พิมพ์ หรือจากการรั่วของเตาจากระบบหล่อเย็น หรือ จากตัวอาคาร

2. Fires and explosions in furnaces can also result from the ignition of volatile materials and fuels.

   ไฟและการระเบิดในเตาอาจจะเกิดจากการจุดติดไฟของสารระเหย และ เชื้อเพลิง

3. The most hazardous procedures are during the firing-up and shutting-down procedures. Gas-fired furnaces should have safeguards to ensure that unspent fuel does not accumulate and ignite. The fuel supply to gas- or oil-fired furnaces should be fitted with an automatic shut-off mechanism.

   ขั้นตอนที่อันตรายที่สุดคือระหว่างที่ทำการติดเตา และดับเตา ควรมีการป้องกันแกสจากเตาเพื่อให้มั่นใจได้ว่าจะไม่มีการสะสมและเกิดการจุดติดไฟกับเชื้อเพลิงที่ยังไม่ใช้งาน การป้อนเชื้อเพลิงให้กับเตาไม่ว่าจะเป็นกาซหรือน้ำมันมันควรกลไกที่เหมาะสมกับการดับเตาด้วย

Preventing fire and explosions

4. Operators should be trained in safe systems of work. The building should be designed to be non-combustible, with automatic fire suppression engineered or designed into the process where appropriate.

พนักงานควรได้รับการอบรมในการทำงานอย่างปลอดภัย อาคารก่อสร้างควรที่จะออกแบบและใช้วัสดุกันไฟในการก่อสร้าง

5. Risk assessments should be carried out to consider the potential dispersal of toxic chemicals from non-furnace processes and combustion products, and the potential impact of an explosion on the surrounding area.

การประเมินความเสี่ยงควรพิจารณาถึงความเป็นไปได้ที่การกระจายของสารเคมีอันตรายที่เกิดจากกระบวนการทั้งที่ไม่การถลุงและผลจากการถลุง ว่ากระทบหรือออกสู่บริเวณโดยรอบอย่างไร

Preventing fire and explosions

6. Regular safety audits should be undertaken to ensure that hazards are clearly identified and risk-control measures maintained at an optimum level.

ควรทำการตรวจสอบเรื่องระบบความปลอดภัยอยู่เสมอ และการควบคุมความเสี่ยงควรคงไว้ที่ระดับสูงสุดเสมอ

7. Refractories (e.g. crucibles, troughs, ladles) and tools should be preheated and dried before use to minimize the risk of explosion. Refractory linings should be regularly inspected for wear.

เครื่องมือหรืออุปกรณ์ทนไฟที่สัมผัสกับโลหะเหลว ควรทำให้แห้งเพื่อป้องกันการระเบิด และตรวจสอบการสึกหรออยู่เสมอ

8. Furnaces should not be operated beyond their safe lives.

ไม่ควรใช้งานเตาถลุงเกินอายุการใช้งาน

Lighting furnaces

1. Before a furnace is lit, fittings and appliances should be inspected to ensure that they are in working order. Particular attention should be paid to the furnace control settings, the air supply, the emission stacks, the fuel supply and its associated pipe work.

   ก่อนทำการติดเตาควรตรวจสอบว่าอุปกรณ์ต่างๆ อยู่ในสภาพพร้อมทำงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการตั้งค่าควบคุมต่าง ๆ การป้อนป้อนอากาศ การป้อนเชื้อเพลิง ปล่องควัน และท่อต่าง ๆ

2. Hand-held torches used to light small furnaces should have a handle of adequate length, and the operator should use a suitable protective shield and heat-insulated gloves to prevent possible burns.

   คานยื่นเข้าไปติดเตาควรมีความยาวเพียงพอและพนักงานควรมีการป้องกันที่เหมาะสมเช่นถุงมือกันความร้อนและกันไฟเพื่อป้องกันการไหม้ที่อาจจะเกิดขึ้นได้

3. A slight draught should be allowed via the air supply to support ignition when the fuel has been switched on and the flame applied.

   ควรที่จะให้มีลมดูดบ้างเล็กน้อยขณะที่ป้อนอากาศเพื่อทำการติดเตา เมื่อเชื้อเพลิงถูกป้อนและมีเปลวไฟจากเกิดขึ้น

4. People responsible for operating the furnace should keep a close watch on the fuel supply, on the possible escape of fuel and on continuing ignition.

   พนักงานที่รับผิดชอบเตาถลุงควรที่จะเฝ้าระวังระดับเชื้อเพลิง ทั้งเพื่อหลบหนีได้ทันเมื่อเกิดไฟไหม้ และเพื่อให้การถลุงเป็นไปอย่างต่อเนื่อง

Dusts and fibers

When a furnace is stripped for maintenance purposes, particular care should be taken to avoid inhaling dusts or fibers from the insulating material. Dust and fume collectors should be incorporated into the furnace design

เมื่อทำการบำรุงรักษาเตาควรที่จะระวังและหลีกเลี่ยงการสูดควัน ฝุ่นหรือ ควันของ ไฟเบอร์

Preventing carbon monoxide poisoning

1. Special precautions should be taken to protect workers who may be potentially exposed to gases containing large concentrations of carbon monoxide, such as blast furnace gas and coke oven gas.

   พนักงานที่สัมผัสกับแกสคาร์บอนมอนนอกไซด์อย่างต่อเนื่องปละมีปริมาณมาก ควรที่จะมีการป้องกันเป็นพิเศษ

2. The employer, in cooperation with workers and their representatives, should conduct a hazard analysis and risk assessment process to determine areas from which gas containing carbon monoxide could escape and accumulate, especially in areas using new technologies.

ควรทำการประเมิณความเสี่ยงและวิเคราะห์อันตราย เพื่อหาพื้นที่ที่กาซคาร์บอนมอนนอกไซด์จะเล็ดลอดออกไปและเกิดการสะสม

3. Workers who may be exposed to these gases should be appropriately trained in order to recognize the symptoms of carbon monoxide poisoning.

พนักงานที่สัมผัสกับแกซควรที่จะได้รับการอบรมถึงอาการของได้รับพิษของคาร์บอนมอนนอกไซด์และการปฐมพยาบาลเบื้องต้น

Preventing carbon monoxide poisoning

4. Areas where carbon monoxide might collect in such a way as eventually to enter work areas should be equipped with continuous automatic carbon monoxide sensors and alarms to provide adequate early warning of dangerous gas releases.

พื้นที่ที่อาจจะมีการสะสมของแกสคาร์บอนมอนนอกไซด์ควรที่จะมีตัวตรวจจับและสัญญาณเตือนตั้งแต่เนิ่น ๆ เมื่อมีอันตรายเกิดขึ้น

5. Continuous monitoring of exposure levels should be carried out. Workers who enter areas with gas hazards should carry portable gas monitors. Workers who enter areas where immediate danger to life or health exists should also be equipped with self-contained breathing apparatus.

ควรที่จะมีการตรวจสอบระดับการกระจายของแกซอยู่เสมอ พนักงานที่เข้าไปในพื้นที่เสี่ยงควรมีอุปกรณ์ช่วยหายใจส่วนบุคคลติดตัวไปด้วย

6. Self-contained breathing apparatus and resuscitation equipment should be maintained in readiness for the emergency rescue team, and operators should be instructed in their use.

อุปกรณ์ช่วยหายใจส่วนบุคคลและอุปกรณ์ช่วยชีวิตต่าง ๆ ควรพร้อมใช้งานเสมอ พนักงานต้องรู้จักวิธีใช้และทีมทำงานสามารถให้การช่วยเหลืออย่างทันท่วงที

7. Gas area rescue drills should be held on a regular basis.

พื้นที่หลบแกซควรจะมีและพร้อมใช้อยู่เสมอ

Preventing steam explosion

1. Molten slag (the unwanted debris removed from the melt with the aid of the limestone additives) and metal should be prevented from coming into contact with water, which will cause a steam explosion.

เศษที่เกิดจากการถลุงซึ่งจับเป็นก้อนกับปูนขาวควรป้องกันการสัมผัสกับน้ำ ซึ่งเป็นสาเหตุของการระเบิดได้

2. Equipment and piping for furnace gas cleaning, and piping carrying gas in the air preheating system of the dry dust catchers, should be built in such a way that they can be ventilated and cleaned.

อุปกรณ์และท่อต่างๆ ของเตาควรได้รับการทำความสะอาด ก่อนใช้ควรเป่าให้แห้ง หรือควรเลือกใช้แบบที่ถ่ายเทและทำความสะอาดได้

Handling molten metal, dross or slag

1. Burns may occur at many points in the steel-making process: at the front of the furnace during tapping from molten metal or slag; from spills, spatters or eruptions of hot metal from ladles or vessels during processing, teeming (pouring) or transporting; and from contact with hot metal as it is being formed into a final product.

การไหม้อาจจะเกิดขึ้นได้หลายจุดในระหว่างกระบวนการผลิต เช่นที่หน้าเตาระหว่างที่มีการเทน้ำเหล็ก หรือเศษ ระหว่างการเคลื่อนย้าย หรือการสัมผัสของเหล็กขณะที่ยังร้อนอยู่

2. Tap holes should be checked regularly for damage and build-up of corundum, to prevent molten metal splashes.

บริเวณต่างควรที่จะมีตรวจสอบ และจุดที่ทำการถ่ายเท ทั้งโลหะและเศษควรที่จะทำที่รองรับเพื่อป้องกันการกระฉอกหรือล้นออกนอกภาชนะ

Training

1. Personnel handling molten metal should have been trained in the proper procedures to adopt, and in the relevant safety and health precautions, including use of appropriate PPE.

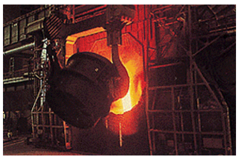
ควรมีการอบรมวิธีการทำงานที่ถูกต้องและปลอดภัยต่อสุขภาพของพนักงานรวมทั้งการใช้อุปกรณ์ป้องกันต่าง ๆ

2. Completion of training should be documented, and training repeated as necessary.

เมื่อได้รับการฝึกอบรมอย่างครบถ้วนแล้วควรมีการทำเอกสารเก็บไว้ และต้องทำการอบรมซ้ำเป็นระยะ

3. Persons who are untrained should not be employed in the transport of molten metal.

พนักงานที่ไม่ผ่านการอบรมห้ามทำงานกับอุปกรณ์ดังกล่าว



Safety inspection of ladles

1. A competent person should regularly inspect ladle buckets and their supporting, **locking and tipping mechanisms**.
2. **Before** each filling, the pouring or transport of slag ladles and their related appliances should be **visually inspected**.
3. **Test results**, including remedies for **cracks and other defects**, should be **recorded**.
4. **Corrective repair** measures that are recommended **should be planned and implemented on a timely basis**.
5. There should be **a system for checking** and **ensuring that the corrective measures have been completed**.