وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة الفرات الأوسط التقنية

المعهد التقني / الديوانية

قسم التقنيات الميكانيكية

الحقيبة التعليمية لمادة خواص المواد الهندسية
المرحلى الأولى / فرع الإنتاج

بسم الله الرحمن الرحيم

رَبِّ أَوْزِعْنِي أَنْ أَشْكُرَ نِعْمَتَكَ الَّتِي أَنْعَمْتَ عَلَيَّ وَعَلَى وَالِدَيَّ وَأَنْ أَعْمَلَ صَالِحًا تَرْضَاهُ وَأَدْخِلْنِي بِرَحْمَتِكَ فِي عِبَادِكَ الصَّالِحِينَ

صدق الله العظيم

المفردات النظرية	
الأسبوع	تفاصيل المفردات
الأول	تعريف المواد الهندسية
الثاني	الذرة، العنصر، أنواع الروابط في المواد الهندسية
الثالث	المواد البلورية واللابلورية
الرابع	الأشكال البلورية (h.c.p), (f.c.c), (b.c.c)
الخامس	الخواص الميكانيكية للمواد (الإجهاد، الانفعال، منحني الإجهاد ـ الانفعال، المطيلية، الانهيار)
السادس	الصلادة، اختبار الصلادة
السابع	تكملة
الثامن	المتانة، اختبارات المتانة
التاسع	الخواص الحرارية للمواد (التمدد الحراري، التوصيل الحراري)
العاشر	الخواص الكهربائية للمواد (المواد الأيونية، المواد العازلة، المواد الفلزية، العوامل المؤثرة على الموصلية)
الحادي عشر	الخواص المغناطيسية للمواد (المواد الفيرومغناطيسية، المواد البارامغناطيسية، المواد الدايا مغناطيسية، التخلف المغناطيسي، العوامل المؤثرة على المغناطيسية)
الثاني عشر	الخواص الكيميائية للمواد (التاكل، السلسلة الكهروكيميائية، الاكسدة)
الثالث عشر	الحديد، اهم خاماته، استخلاصه، الفرن العالي والمحولات
الرابع عشر	الصلب الكاربوني، اهم انواعه، خواصه، استخداماته
الخامس عشر	الفولاذ السبائكي، اهم انواعه، خواصه، استخداماته
السادس عشر	حديد الزهر، اهم انواعه، خواصه، استخداماته

السابع عشر	تكمله
الثامن عشر	النحاس، سبائكه، خواصه، استخداماته
التاسع عشر	الالمنيوم وسبائكه، خواصه، استخداماته
العشرون	النيكل وسبائكه، خواصه، استخداماته
الحادي والعشرون	القصدير وسبائكه، خواصه، استخداماته الخارصين وسبائكه، خواصه، استخداماته المنغنيز وسبائكه، خواصه، استخداماته
الثاني والعشرون	سبائك لاحديديه اخرى (المعادن البيضاء وسبائك المحامل)
الثالث والعشرون	ميتالورجية المساحيق (طرق الحصول على المساحيق المعدنية، الطرق الميكانيكية، الطرق الكيميائية والفيزياوية، الخواص الطبيعية والميكانيكية والكيمياوية للمساحيق)
الرابع والعشرون	كبس المساحيق، عملية التلبيد
الخامس والعشرون	المواد السيراميكية
السادس والعشرون	الزجاج وانواعه، صناعته، استخداماته
السابع والعشرون	الكونكريت، استخداماته الصناعيه
الثامن والعشرون	البوليمرات، جزيئات البوليمر، انواع التبلمر
التاسع والعشرون والثلاثون	خواص استعمالات اللدائن، وتكملة اللدائن

اهداف المادة:

الهدف العام: التعرف على المواد الهندسية المعدنية واللامعدنية

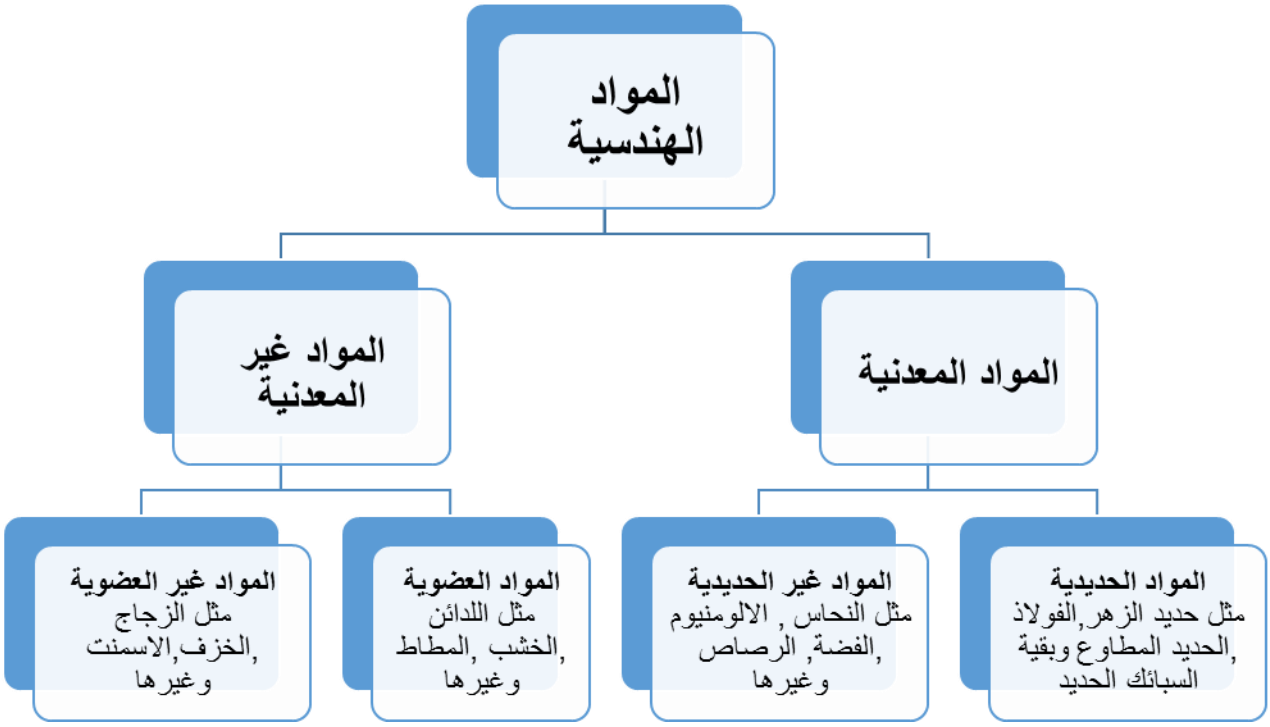
الهدف الخاص:

١- معرفة الخواص الميكانيكية والحرارية والكهربائية والمغناطيسية للمواد

٢- معرفة التركيب الداخلي للمواد المعدنية واللامعدنية وانواعها واستخداماتها

المواد الهندسية

هي المواد الاولية والمصنعة التي تستعمل في انتاج السلع والادوات المختلفة، كالفلزات واللافلزات والسبائك والمواد الاخرى.



خواص المواد الهندسية

١. الخواص الطبيعية (Physical properties): هي مجموعة الخواص الفيزيائية المميزة للمادة الهندسية مثل خواص الشكل، الكثافة، اللون، الابعاد، التركيب الجزيئي، التركيب البلوري، الوزن النوعي، الصلادة، المسامية، الوزن الحجمي وغيرها.
٢. الخواص الكيميائية (Chemical properties): هي مجموعة الخواص المتعلقة بالتركيب الكيميائي والقاعدية والحامضية ومقاومة التآكل والصدأ وتحديد نسب الاضافات المحسنة لخواص المادة مثل تحديد نسبة الكربون والمنغنيز والسيليكون وغيرها.
٣. الخواص البصرية (Light properties): هي خواص تعتمد على تأثير الضوء على المواد الهندسية مثل درجة نفاذية الضوء والانعكاس وانكسار الضوء ودرجة اللون وغيرها.
٤. الخواص الحرارية (Thermal properties): هي خواص تتعلق بالتأثير الحراري على المواد الهندسية مثل تحديد معاملات التمدد والانكماش والحرارة النوعية والتوصيل الحراري والعزل الحراري ودرجة التفتت بالحرارة وغيرها.
٥. الكهرومغناطيسية: الفعل الكلفاني والنفاذ المغناطيسي وغيرها.

٦. الخواص الصوتية (Sound properties): لتحديد الخواص الصوتية للمواد الهندسية المختلفة مثل درجة عزل الصوت، درجة نفاذية الصوت، التوصيل الصوتي، التردد، الرنين وغيرها.
٧. الخواص الميكانيكية (Mechanical properties): هي مجموعة الخواص التي تتعلق بسلوك المادة الهندسية تحت تأثير الاحمال بأنواعها المختلفة سواء الاحمال الاستاتيكية أو الديناميكية وتساعد دراسة هذه الخواص على تحديد مدى مقاومة المواد الهندسية الاحمال والاجهادات بأنواعها ومعرفة سلوك المواد عند تعريضها للأحمال وهذه الخواص هي المقاومة والمتانة والصلابة والصلادة والقصافة وغيرها.

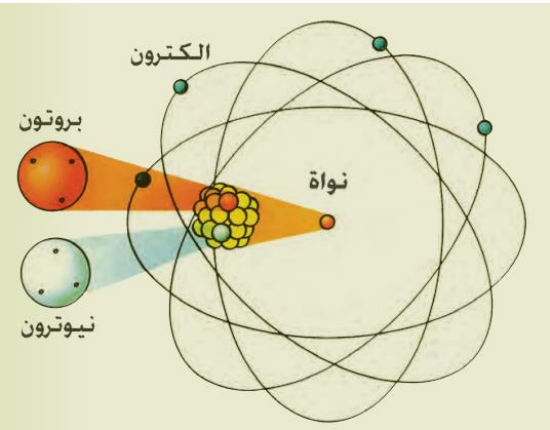
الذرة Atom: هي أصغر جزء من مادة عنصر كيميائي يمكن ان تنقسم اليه المادة وتظل حاملة لصفاتها الكيميائية، وتتكون الذرات من جسيمات دون ذريّة، وهي بشكل أساسي:

البروتونات موجبة الشحنة

النيوترونات متعادلة الشحنة

الالكترونات سالبة الشحنة

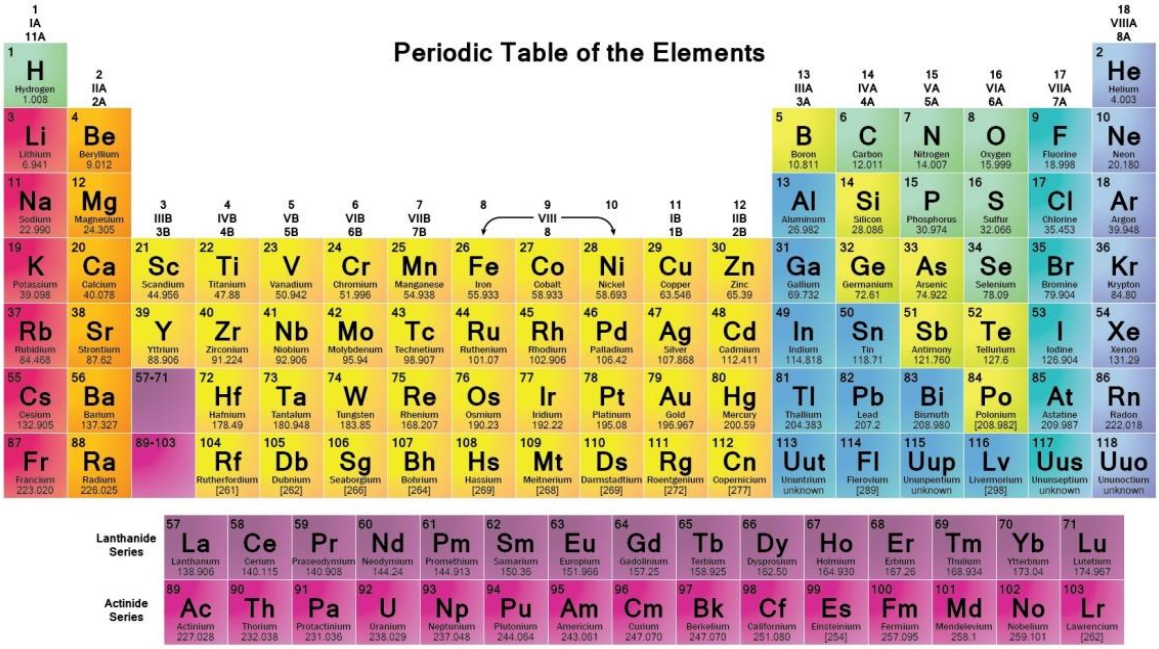
في مركز الذرة توجد نواة موجبة الشحنة تتكون من البروتونات، النيوترونات وتشكل النواة معظم كتلة الذرة، والنواة تقريباً أصغر ١٠٠,٠٠٠ مرة من الذرة
الذرة هي حجر الأساسي في بناء الكيميائية والمادة بشكل عام، وبذلك فإنه عند الوصول لأي ذرة توجد بمفردها فإن هذه الذرة تعبر عن عنصر معين.



عدد البروتونات =عدد النيوترونات

العدد الذري = عدد البروتونات

عدد الكتلة = عدد البروتونات + عدد النيوترونات



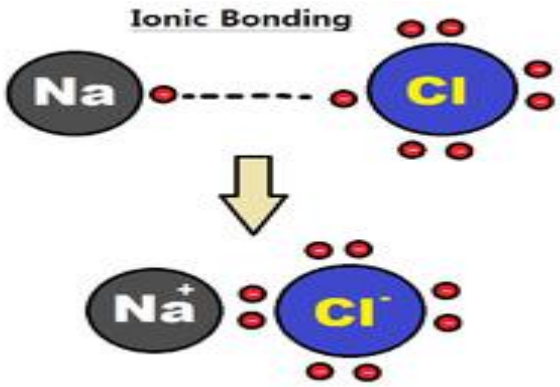
العدد الذري	الاسم	الرمز	الحالة	الوصف
١	الهيدروجين	**H**	غاز	لا فلز
٢	الهيليوم	**He**	غاز	غاز نبيل
٣	الليثيوم	**Li**	صلب	فلز قلوي
٤	البريليوم	**Be**	صلب	فلز قلوي
٥	البورون	**B**	صلب	شبه فلز
٦	الكربون	**C**	صلب	لا فلز
٧	النيتروجين	**N**	غاز	لا فلز
٨	الأوكسجين	**O**	غاز	لا فلز
٩	الفلور	**F**	غاز	هالوجيني
١٠	النيون	**Ne**	غاز	غاز نبيل
١١	الصوديوم	**Na**	صلب	فلز قلوي
١٢	المغنيسيوم	**Mg**	صلب	فلز قلوي
١٣	الألومينيوم	**Al**	صلب	فلز
١٤	السيليكون	**Si**	صلب	شبه فلز
١٥	الفوسفور	**P**	صلب	لا فلز
١٦	الكبريت	**S**	صلب	لا فلز
١٧	الكلور	**Cl**	غاز	هالوجيني
١٨	أرگون	**Ar**	غاز	غاز نبيل
١٩	البوتاسيوم	**K**	صلب	فلز قلوي
٢٠	الكالسيوم	**Ca**	صلب	فلز قلوي

العناصر الكيميائية Chemical elements : هي مجموعة جزئية من المواد في الطبيعة ، تتكون من ذرات من مادة واحدة وتوجد اما بشكل طبيعي في الارض او يقوم الانسان بتكوينها ، ٩١ منهم موجود في الطبيعة بشكل طبيعي ويقوم العلماء بتصنيفها على اسس كتلها الذرية وصفاتها الكيميائية ، من اشهر التصنيفات واوسعها انتشارا الجدول الدوري لماندليف ، تقابلها المركبات الكيميائية التي تتكون من مجموعات من الذرات من العناصر المختلفة مترابطة معا لتكوين شكل جديد من المادة بخصائص جديدة ، واي مادة موجودة هي أما عنصر من هذه العناصر او مركب مكوّن من هذه العناصر ، وذلك باستثناء الجسيمات دون الذرية.

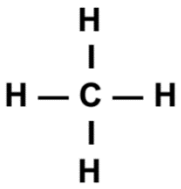
أنواع الروابط في المواد الهندسية

١. **الترابط الايوني Ionic Bond:** ترتبط البلورات الايونية (Ionic Crystals) مع بعضها بواسطة قوى التجاذب الالكتروستاتيكي بين الايونات الموجبة والسالبة وتكون الترابطات الايونية قوية جدا والبلورات من هذا النوع تكون قوية وذات درجة انصهار عالية.

$$Na^+ + Cl^- \rightarrow \ Na^+Cl^-$$

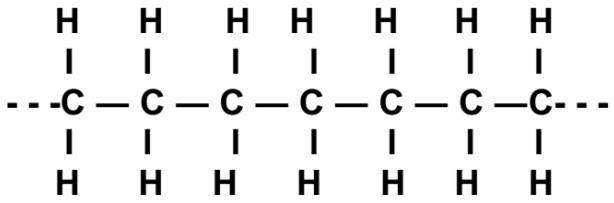


٢. **الترابط المشترك Covalent Bond:** يتكون الترابط المشترك من زوج من الالكترونات المشتركة بين الذرات المتجاورة فمثلا ذرة الكربون التي تحتوي على اربعة الكترونات تكافؤ وذرة الهيدروجين التي لها الكترون تكافؤ واحد، فان ذرة الكربون تتحد مع أربع ذرات من الهيدروجين لتكوين ما مجموعه ثمانية الكترونات تكافؤ يحدث هذا عند تكوين مركب الميثان (CH_4)

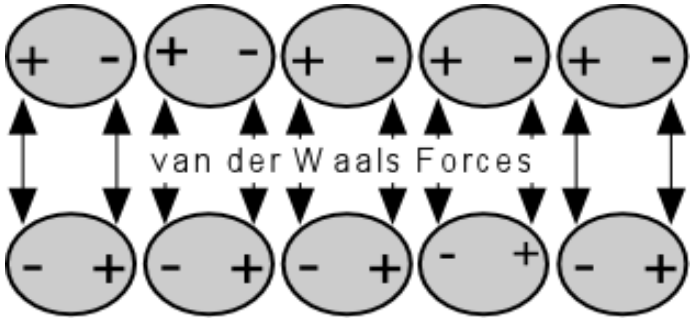


حيث تمثل كل اصرة من الاواصر زوجا من الالكترونات المشتركة ,اي الكترون من الكربون واخر من الهيدروجين في الزوج.

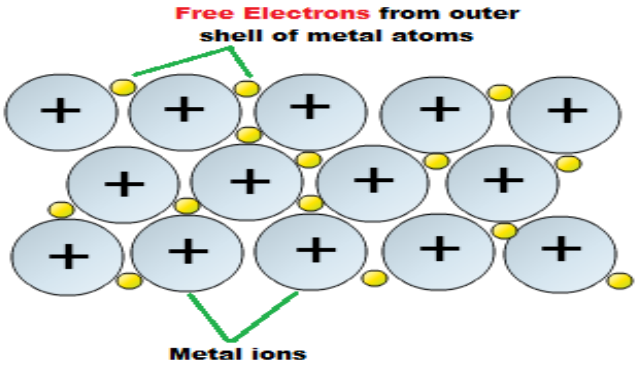
ان الترابطات المشتركة تربط الذرات مع بعضها في جزيئات البوليمرات الطويلة السلسلة (Long Chain Polymers) مثل البولي أثلين $(CH_2)_n$ والذي يرمز له على الشاكلة التالية:



٣. **قوى فان دير فال Van der Waals Forces:** هي قوى سطحية ضعيفة توجد عادة بين جزيئات البوليمرات الطويلة السلسلة والقوة الجاذبة بين الجزيئات تنتج كليا من تقاربها مع بعضها البعض وليس من اي ترابط كيميائي ونظرا لكون هذه القوى ضعيفة، تستطيع الجزيئات المتكونة من سلسلة من الذرات الانزلاق بسهولة فوق بعضها البعض كما هو الحال في المواد اللدنة حرارياً (Thermoplastic Materials).



٤. **الترابط المعدني Metallic Bond:** تتكون البلورات المعدنية من ايونات موجبة موزعة بانتظام على شكل بنية شبكية (Lattice Structure) مغمورة في سحابة من الالكترونات الحرة (Free Electrons)



ان الكترونات هذه السحابة ليست مرتبطة باي ايون معين من ايونات المعدن ولكنها تتحرك بسرعة خلال المعدن بطريقة تحافظ بها على كثافة متجانسة تقريبا.

ان الارتباط في البلورة المعدنية هو نتيجة قوى التجاذب الالكتروستاتيكي بين السحابة الالكترونية (Electron Cloud) والايونات الموجبة.

ان كثيرا من خواص المعادن تعزى الى الحركة الحرة للإلكترونات خلال الشبكة ومن هذه الخواص جودة التوصيل للحرارة والكهربائية وكذلك خاصية التشويه اللدن (Plastic Deformation) التي تتميز بها المعادن اذ انه في حال انكسار احدى الارتباطات بين ايونين يتشكل حالاً ارتباط اخر وهذا يبرر ايضا خواص المطيلية (Ductility) والطروقية أو قابلية الانضغاط (Malleability) في المعادن.

المواد البلورية (Crystalline): فيها ينتظـــم ترتيب الذرات في الفراغ بحيث تشكل نمطاً هندسياً دورياً .وعندما ينتشر هذا النمط ليشغل كل أجزاء المادة فإن هذا يعني أن لدينا بلورة وحيدة أما إذا توقف اطراد دورية النمط الهندسي عندما يسمى بحدود الحبيبات بأن المادة حينئذ تكون متعددة البلورات أي أنها تتكون من مجموعات صغيرة جداً من الحبيبات أو البلورات الأحادية الصغيرة في اتجاهات مختلفة .

المواد اللابلورية (Non crystalline) :وتضم المـــــواد الصلبة التي تتخذ ذراتها أو جزيئاتها توزيعاً عشوائياً حيثما يتسنى لها وعندما تتحول من الحالة المائعة " الغازية أو السائلة " إلى الحالة الصلبة توصف بأنه لا شكلية أو أمورفيه، بمعنى أنها لا تتخذ شكلاً مميزاً كمـــــــا أنها توصف بأنها زجاجية نظراً لأنها تتشابه مع الزجاج في عشوائية ترتيب الذرات.

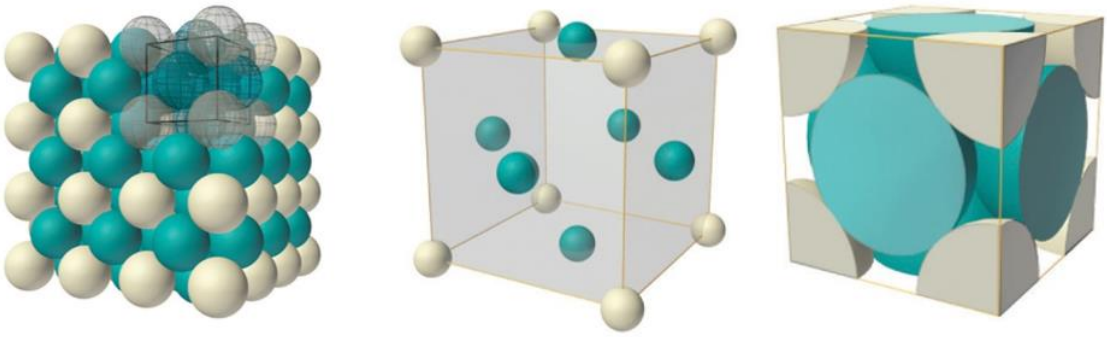
الأشكال البلورية

١. مكعب متمركز الاوجه (Face Centered Cubic. FCC) :

هو عبارة عن مكعب عدد الذرات فيه اربعة عشر ذرة، ثمانية منها في الاركان وستة في مراكز الاوجه الستة من اوجه المكعب، ويسمى احيانا مكعب الوحدة الاولية.

ومن المعادن التي لها شبكة بلورية من هذا النوع هي الالومنيوم، الكالسيوم، الحديدγ، النيكل، النحاس، الكوبلت، البالاديوم، البلاتين، الذهب والرصاص أما اطوال أضلع المكعب لبعض المعادن مقاسة بالأنجستروم*

- الالومنيوم= (٤,٠٥)
- الحديدγ= (٣,٦٣)
- الذهب= (٤,٠٨)
- النحاس= (٣,٦)
- الرصاص= (٩,٩٤)



الأنجستروم*: أنجستروم أو أنغستروم وهي وحدة قياس للطول تساوي من 10^{-10} متر (أي جزء من عشرة مليار من المتر) وقد سميت هذه الوحدة نسبة إلى العالم آندرز أنغستروم.

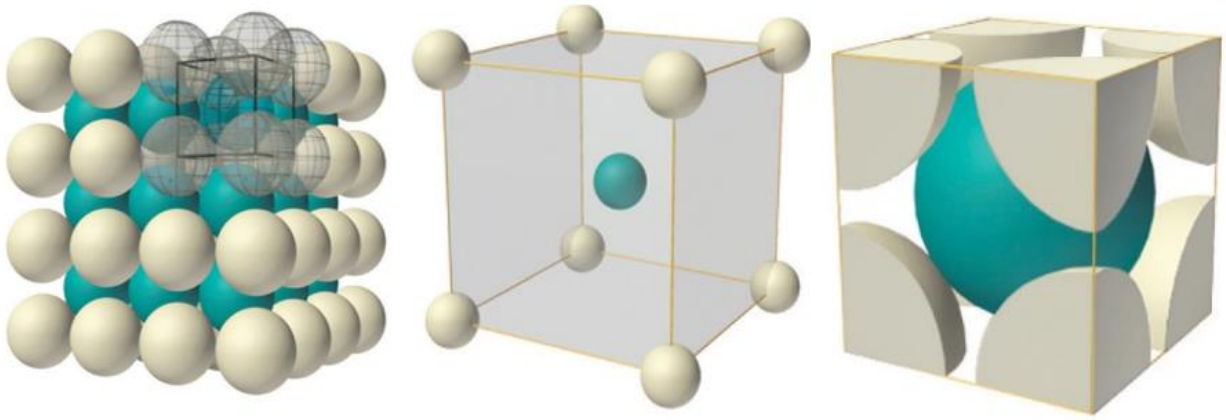
أنغستروم نسبة إلى وحدات القياس الأخرى

- ١أنغستروم = ٠,١ نانومتر.
- ١أنغستروم = ٠,٠٠٠١ مايكرومتر.
- ١أنغستروم = ٠,٠٠٠٠٠٠١ مليمتر.

٢. مكعب متمركز الجسم (Body Centered Cubic. BCC) :

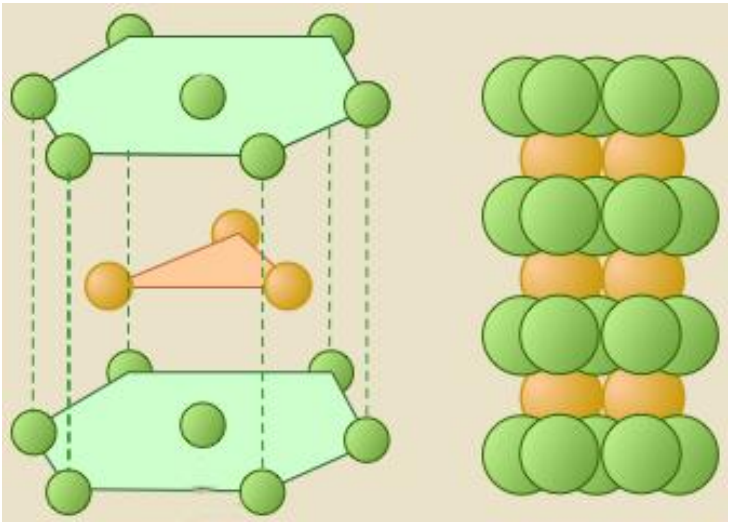
هو عبارة عن مكعب عدد الذرات فيه تسعة، ثمانية منها تقع في اركان المكعب وذرة واحدة في مركزه، ومن امثلة المعادن التي لها شبكة بلورية من هذا النوع الليثيوم، الصوديوم، الثاناديوم، الحديد، النيونيوم، الروبيديوم، المولبيديوم، الولفرام وغيرها. وتختلف متغيرات الشبكة (ضلع المكعب) لكل معدن أما اطوال أضلع المكعب لبعض المعادن مقاسة بالأنجستروم.

- الليثيوم= (٣,٥)
- البيريليوم= (٣,٠٥)
- الولفرام= (٣,١٥)
- الحديد= (٣,٨٧)
- المولبيديوم= (٣,٤)
- الكروم= (٣,٨٩)



٣. شبكة سداسية متراصة (Hexagonal Closed Pocked. HCP) :

عدد الذرات في الوحدة الأولية لهذه الشبكة البلورية هي سبعة عشر ذرة، اثنا عشرة ذرة في الأركان، وذرتان في مركزي القاعدة السفلى والعليا، وثلاث ذرات في مركز الشبكة كما موضحة بالشكل التالي.



الخواص الميكانيكية هي الخواص التي تتعلق بسلوك المادة عند تعريضها للأحمال المؤثرة كالشد والضغط والصدم والثني والخدش وغيرها، وتستخدم الخواص الميكانيكية كأساس للمقارنة بين المواد الهندسية المختلفة.

الإجهاد (Stress) :هو القوة المسلطة عمودياً على وحدة المساحة ويرمز له بالحرف (δ).

$$Stress = \frac{Force}{Area}$$

$$\delta = \frac{F}{A}$$

ويقاس بوحدات الفوة مقسومةً على وحدات المساحة.

N/m^2 or N/mm^2

Kgf/cm^2

Psi

أنواع الإجهاد (Types of Stress)

إجهاد الشد (Tensile Stress)

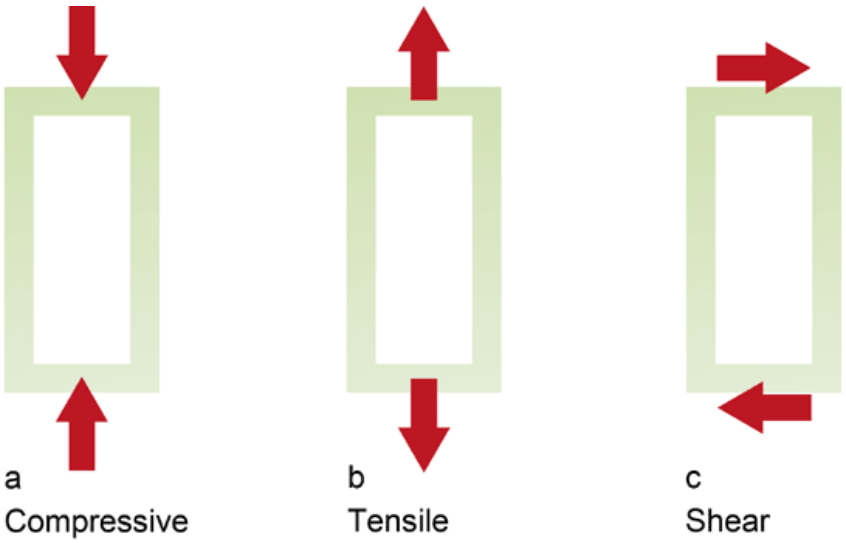
وفيه تؤثر قوتان متساويتان بالمقدار متعاكستان بالاتجاه تقعان على نهايتي الجسم وعلى نفس خط التأثير.

إجهاد الضغط (Compressive Stress)

وفيه تؤثر قوتان متساويتان بالمقدار متقابلتان بنفس الاتجاه تقعان على نهايتي الجسم وعلى نفس خط التأثير.

إجهاد القص (Shear Stress)

فيه تؤثر قوتان متساويتان بالمقدار متعاكستان بالاتجاه على نهايتي الجسم وعلى خطوط تأثير مختلفة.



الانفعال (Strain) :

هو مقدار التشوه النسبي الذي ينشأ نتيجة الإجهادات المتولدة في الجسم بعد التأثير القوى الخارجية ويرمز له بالحرف ($\mathcal{E}$)، وفي حالتي الشد والضغط تتولد ثلاثة انواع من الانفعالات.

أنواع الانفعال (Types of Strain)

الانفعال الطولي: عبارة عن الاستطالة النسبية الناشئة في حالة الشد أو التقلص النسبي في حالة الانضغاط، ويمثل رياضياً بالصيغة التالية

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_\circ}$$

$(\Delta l) = (l_1 - l_\circ)$=التغير بالطول (الطول الجديد – الطول الاصلي).

$(l_\circ)$= الطول الاصلي.

الانفعال العرضي: هو عبارة عن الزيادة النسبية لعرض المقطع العرضي في حالة الانضغاط والتقلص النسبي للمقطع العرضي في حالة الشد، ويمثل رياضياً بالصيغة التالية

$$\varepsilon = \frac{\Delta b}{b_\circ}$$

$(\Delta b) = (b_1 - b_\circ)$=التغير بالعرض (العرض الجديد – العرض الاصلي).

$(b_\circ)$= العرض الاصلي.

الانفعال السُمكي: هو عبارة عن الزيادة النسبية لسُمك المقطع العرضي في حالة الانضغاط والنقصان النسبي لسُمك المقطع العرضي في حالة الشد، ويمثل رياضياً بالصيغة التالية

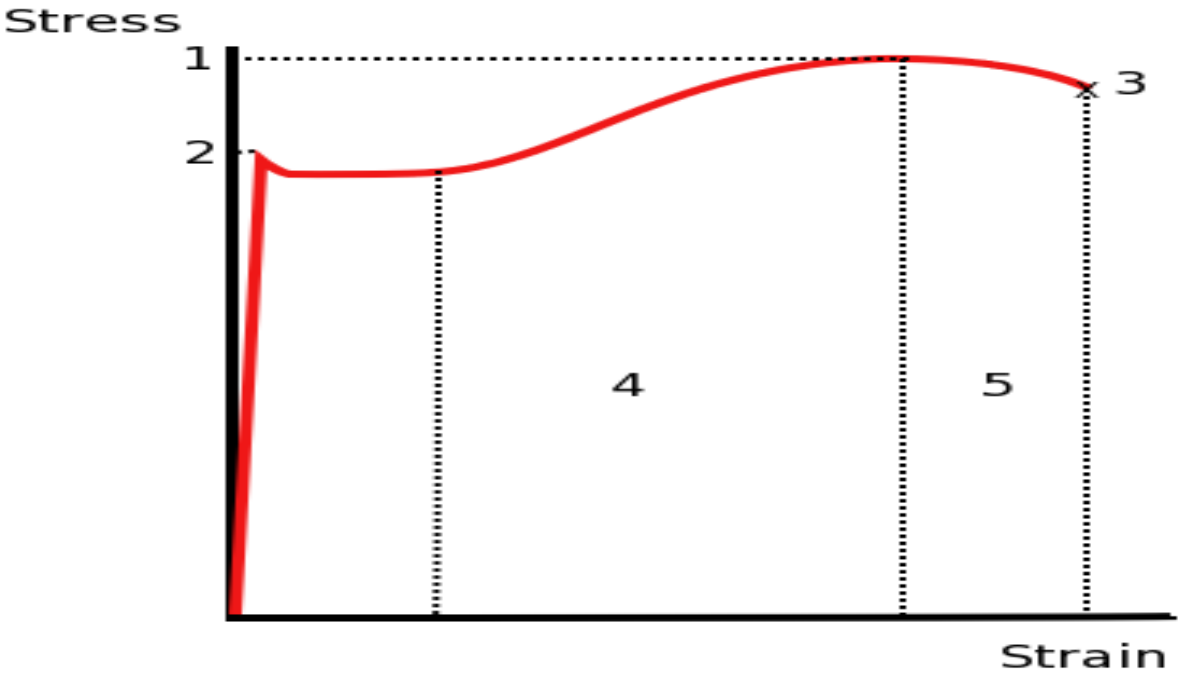
$$\varepsilon = \frac{\Delta z}{z_0}$$

$(\Delta z) = (z_1 - z_0)$=التغير بالسُمك (السُمك الجديد – السُمك الاصلي).

(z_0)= السُمك الاصلي.

منحنى الإجهاد-الانفعال (Stress-Strain Curve)

هو منحني يوضح العلاقة بين الإجهاد والانفعال للمواد المختلفة. يرسم هذا المنحني عن طريق إجراء اختبار شد لعينة من المادة.



حيث:

١. الإجهاد الأقصى (Ultimate Stress): وهو أقصى إجهاد يمكن أن تتحمله المادة.

٢. مقاومة الخضوع (Yield Stress): وهو الإجهاد الذي تبدأ عنده عملية التشوه اللدن بمعنى أن المادة لا تعود إلى أبعادها الأصلية حتى بعد رفع الحمل عنها.

٣. نقطة الانهيار او الكسر (Fracture point): وهي النقطة التي تنكسر عندها المادة وذلك بعد بلوغها أقصى انفعال ممكن وتكون قيمة الإجهاد عنده أقل بقليل من الإجهاد الأقصى.

٤. هذه المنطقة تسمى منطقة التقسية بالانفعال (Strain hardening region).

٥. هذه المنطقة تسمى منطقة تكون الرقبة أو الاختناق (Necking region).

الانهيار: يستخدم مصطلح الانهيار في المراجع التي تذكر الزحف وتعني به الانكسار .قد يؤدي الزحف إلى فشل أحد الأجزاء الميكانيكية خلال الخدمة نتيجة التشوه المفرط، بحيث لن تستطيع أن تعمل بصورة مُرضية. ومع ذلك، بعد وقت طويل تحت الحمل ودرجة الحرارة العالية، من الشائع أن تخفق الأجزاء الميكانيكية بالانهيار أكثر من أن تفشل نتيجة التشوه المفرط.

الانكسار (Fracture): هو انفصال موضعي لجسم أو مادة إلى قطعتين أو أكثر تحت تأثير الإجهاد .وتستخدم كلمة كسر في عدة ميادين مثل كسر عظام المخلوقات الحية أو البلورات أو المواد البلورية مثل الأحجار الكريمة أو الفلزات . وقد تنكسر البلورات في المواد البلورية أحيانا دون أن ينفصل الجسم إلى قطعتين أو أكثر. وبحسب نوع المادة المكسورة فإن الانكسار ينقص من مقاومة المادة أو يثبط من انتقال الضوء عبرها (البلورات البصرية).

الصلادة (Hardness): هي خاصية للمواد تحدد مدى قابلية المادة لتحمل الخدش. تعتمد الصلادة على التركيب الكيميائي للمادة بالإضافة إلى البنية الدقيقة.

المرونة (Elasticity)

وهي قابلية المادة وقدرتها على العودة الى ابعادها الأصلية عند توقف تأثير الأحمال عليها، أي استعادة تامة للأبعاد الاصلية للمادة وتقاس بقيمة الاجهاد الاقصى الذي يمكن للمادة ان تتحمله ثم تستطيع استعادة ابعادها الاصلية عند ازالته او بمعنى اخر أكبر اجهاد تتحمله المادة بشرط عدم بقاء أي تغير دائم في الشكل عند زوال الاجهاد.

اللدونة (Plasticity)

وهي قدرة المادة على الاحتفاظ بالتشكلات الناتجة فيها بعد زوال الحمل المؤثر التشكل الدائم بدون كسر او انهيار او بمعنى اخر قدرة المادة على التشكل الدائم بعد زوال الحمل المؤثر أي عدم استعادة الابعاد الاصلية للمادة.

المطيلية (Ductility)

وهي قدرة المادة على أداء استطالة كبيرة وملحوظة قبل الكسر تحت تأثير قوى الشد وتعبر عنها بنسبة التغير في طول العينة ومساحة مقطعها بدون كسر.

الطروقية (Malleability)

وهي قدرة المادة على أداء استطالة كبيرة وملحوظة قبل الكسر تحت تأثير قوى الضغط وهي أيضا قدرة المادة على تحمل قوى الطرق ومدى قابليتها للتفلطح بدون حدوث التغير في الشكل.

الكلل(Fatigue)

هو انهيار المادة بسبب تعرضها لإجهادات دورية ومتكررة.

الزحف(Creep)

هو انهيار المادة تحت تأثير حمل ساكن لفترة طويلة.

التقصف (Brittleness)

وهي الخاصية التي تسبب كسر المادة قبل حدوث تغير ملحوظ في الشكل وحدوث تشكلات طفيفة في المادة قبل انهيارها مثل الزجاج وحديد الزهر.

المقاومة (Strengths)

وهي قدرة المادة على مقاومة الأحمال الاستاتيكية وتقاس بالإجهاد الاقصى في المادة عند تعرضها لأنواع الاحمال المختلفة على ان يكون تأثير الحمل ببطء حتى الكسر وتتمثل هذه المقاومات في:

مقاومة الضغط (Compression)
مقاومة الشد (Tension)
مقاومة الانحناء (Bending)
مقاومة القص (Shear)
مقاومة الالتواء (Torsion)
مقاومة الكلال او التعب (Fatigue)

الاحتمال (Endurance)

هي قدرة المادة على مقاومة الاحمال المتكررة ويقاس بحد الاحتمال وهو الاجهاد الاقصى الذي يمكن ان تتحمله المادة لعدد كبير من دورات التحميل المعكوسة كليا دون ان تنهار.

المتانة (Toughness)

وهي قدرة المادة على مقاومة الأحمال الديناميكية وامتصاص الطاقة الميكانيكية اثناء تحميلها دون اعادتها كليا وهي اقل كمية من الطاقة تمتصها المادة وتلزم لحدوث الكسر.

قياس الصلادة

هناك أساليب عديدة لقياس الصلادة تعتمد على نوع الاختبار المستخدم، وأهم هذه الأساليب:

- اختبار برينل للصلادة
- اختبار فيكرز للصلادة
- اختبار روكويل للصلادة

الهدف من اختبار الصلادة

يستخدم اختبار صلادة المعادن في مجالات عديدة في الصناعة كما ان معظم المواصفات القياسية تنص على ضرورة اجرائه كاختبار قبول للمعادن والمنتجات. وتستخدم نتائج اختبارات الصلادة في الأغراض الاتية:

- ترتيب المعادن حسب صلادتها حيث ان لكل صلادة معينة استخدام مناسب لها في الصناعة وفي التشغيل.
- التحكم في مستوى الإنتاج ومراقبته اثناء التصنيع.
- ضبط نسبة الكربون المطلوبة للصلب اثناء الصناعة بحيث ان لكل نسبة كربون معامل صلادة معين.
- بيان مدى تأثير طريقة تشغيل المعدن للشكل المطلوب على صلادته وذلك باختبار صلادته قبل وبعد التشغيل.
- دراسة تأثير عمليات المعاملة الحرارية والتأكد من صحة اجرائها وتغييرها صلادة المعدن طبقا لذلك.

اختبار برينل للصلادة (Brinell hardness test)

هو أحد الطرق أو الاختبارات المستخدمة لقياس صلادة مادة، ابتكره المهندس السويدي جون أغسطس برينل، تتلخص طريقة الاختبار في ضغط كرة من الفولاذ المصلد، أو كرة مصنعة من مادة كربيدات التنجستين الملبد، ويجب ان تكون سطح الكرات أملس وخالياً من العيوب.

على عينة نظيفة مستوية من المادة المراد اختبار صلادتها. يفضل في هذا الاختبار ألا يقل سمك العينة عن ١٠ أمثال عمق الأثر (العلامة التي تتركها الكرة في العينة).

عادة ما تستخدم كرة من الفولاذ المصلد قطرها كبيرة كمادة خارقة (تسمى الخارق)، مع حمل (٣٠٠٠ kgf)، لكن حجم هذا الخارق لا يصلح في حال العينات الرقيقة؛ لذا تستخدم كرات بأقطار مختلفة كما في الجدول رقم (١)

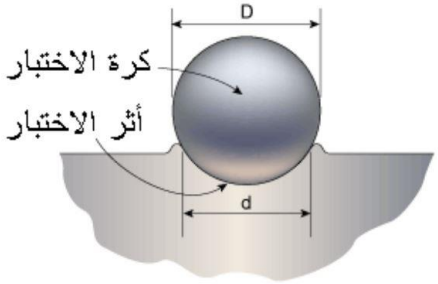
جدول رقم (١) يوضح حجم كرات اختبار برينل مع حدود السماح

قطر الكـــرة (mm)	١	٢	٥	١٠
حدود السماح (mm)	±٠,٠٠٢٥	± ٠,٠٠٣٥	± ٠,٠٠٤٠	± ٠,٠٠٤٥

وكذلك تستخدم الأحمال مختلفة مع العينات الأقل صلادة او تستبدل كرة الفولاذ بأخرى من كربيدات التنجستن في حالة المواد الأكثر صلادة.

بعد إجراء الاختبار يتم تعيين قطر الأثر، ثم حساب الصلادة من العلاقة:

$$\mathrm{B.H.N} = \frac{٢P}{\pi D\left(D - \sqrt{(D^{٢} - d^{٢})}\right)}$$



(B.H.N) رقم برينل للصلادة.

(P) الحمل مقاس بـ(kgf).

(D) قطر كرة الاختبار المستخدمة كخارق مقاس بـ(mm).

(d) قطر أثر الاختبار الناتج على سطح العينة مقاس بـ(mm).

وتجب مراعاة الشروط التالية بالنسبة لعينة الاختبار:

- سمك قطعة الاختبار يجب الا يقل عن عشرة أمثال عمق الأثر والذي يحسب من المعادلة:

$$h = \frac{P}{\pi D(B.H.N)}$$

(h) عمق الأثر مقاس بـ(mm)

(D) قطر كرة الاختبار المستخدمة كخارق مقاس بـ(mm).

(P) الحمل مقاس بـ(kgf).

(B.H.N) رقم برينل للصلادة.

ويجب الا يظهر أي انبعاج للسطح الخلفي من قطعة الاختبار ناتج من تأثير ضغط الحمل على الوجه المقابل لسطح قطعة الاختبار بعد اجراء الاختبار.

- يجب ان يكون سطح قطعة الاختبار مصقولاً بدرجة تسمح بقياس أثر كرة برينل بمقياس دقته (٠،٠١mm).
- يجب الا تقل المسافة بين أثر كرة برينل وأقرب حافة لقطعة الاختبار عن مرتين ونصف من قطر الأثر، وكذلك الا تقل المسافة بين مركزي اثرين متجاورين عن أربع مرات قطر الأثر.

خطوات الاختبار

١. يجري اختبار برينل في درجة حرارة الغرفة ويكون ذلك بوضع قطعة الاختبار على مرتكز صلب ثابت حتى لا تحدث ازاحة اثناء اجراء الاختبار.
٢. توضع كرة برينل المناسبة على سطح قطعة الاختبار.
٣. يضغط على كرة برينل بحمل عمودي على سطح قطعة الاختبار ويزداد هذا الحمل تدريجياً حتى تصل قيمته الى الحمل المناسب للمعدن المختبر المقابل لكرة برينل المستعملة.
٤. يترك الحمل مؤثراً على قطعة الاختبار فترة لا تقل عن (١٥) ثانية.
٥. يزال الحمل.
٦. يقاس الاثر بواسطة الشاشة المكبرة المزودة بالمايكرومتر المجهري ويحسب رقم برينل للصلادة باستخدام المعادلة.

عند ذكر نتيجة اختبار برينل يجب ذكر نوع مادة الكرة وقطرها والقوة المؤثرة التي ادت إلى الحصول على هذه النتائج، وتوجد اختصارات للدلالة على نوع مادة الكرة، فـ(*HBW*) تدل على ان الكرة المستخدمة في الاختبار من مادة كربيد التنجستين و(*HBS*) تدل على ان المادة المستخدمة مصنعة من الصلب. وعندما تكون ظروف اختبار (*HBW* ٢٠/٣٠٠٠) فهذا معناه تم استخدام كرة مصنعة من مادة كربيد التنجستين بقطر ٢٠ ملليمتر وقوة تقدر بـ (٣٠٠٠ *kgf*).

حدود استخدام طريقة برينل

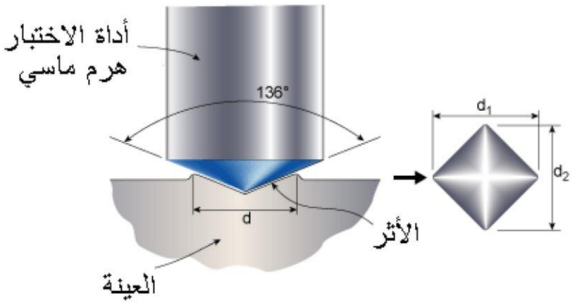
يعتبر استخدام طريقة برينل لاختبار صلادة غير صحيح في حالات التالية:

- إذا كان المعدن المختبر شديد الصلادة حيث يخشى على كرة برينل من ان تغير شكلها فبذلك لا تحدث علامة حقيقية تمثل صلادة المعدن المختبر.
- إذا كانت العينة المختبرة رقيقة جداً أي سمك صغير حيث تحدث كرة برينل بسطح المعدن انبعاجاً يظهر أثره من الجانب الاخر.
- إذا كانت العينة المختبرة مصلدة بالتغليف حيث ينتظر ان يكون أثر أكبر من سمك الجزء المصلد وحينئذ لا يمثل رقم برينل صلادة الغلاف المصلد لسطح العينة وهو غرض الاختبار.

اختبار ڤيكرز للصلادة (Vickers hardness test)

إن اختبار ڤيكرز للصلادة هو اختبار لقياس صلادة المواد طوّر من قبل روبرت سميث وجورج سانلاند في مختبرات شركة ڤيكرز المحدودة، وذلك بنفس طريقة اختبار برينل للصلادة. والاداة المستخدمة لإجراء الاختبار هي عبارة عن هرم من الماس مربع القاعدة وتتقاطع مستوياته عند الحروف بزاوية(θ) قدرها (١٣٦°).
يجري اختبار ڤيكرز بنفس طريقة اختبار برينل، وبما ان شكل الاداة هرم من الماس فأن الاثر على سطح القطعة المختبرة يكون مربعاً وذا عمق معين وبالتالي تقاس الصلادة بقياس قطر الاثر (*d*).

$$V.H.N = ١.٨٥٤ * \frac{P}{d^{٢}}$$



(V.H.N) رقم ڤيكرز للصلادة.

(P) الحمل مقاس بـ(kgf).

(d) قطر أثر الاختبار الناتج على سطح العينة مقاس بـ(mm).

وعند اجراء الاختبار يتم اختيار الحمل المناسب اعتماداً على عدة امور منها:

- حالة صلادة المعدن المختبر.
- سُمك وأبعاد القطعة المختبرة.
- عمق الاثر المسموح به بالجزء المختبر تفادياً لإتلاف سطحه.

ويلاحظ ان اختلاف التحميل مع ثبوت الهرم الماسي في كل حالة لا يؤثر في اختلاف قيمة رقم ڤيكرز للصلادة حيث من التجارب المتعددة ان رقم ڤيكرز ثابت للمعدن الواحد مهما اختلفت الاحمال المؤثرة. وباستخدام هرم من الماس صغير ودقيق الحجم يمكن تحديد صلادة المعادن لعينات رقيقة السُمك وذلك حتى سُمك قدره (٠,٠١mm).

مزايا اختبار صلادة المعادن بطريقة ڤيكرز

- يعطي قيمة دقيقة لرقم الصلادة.
- الاحمال المؤثرة صغيرة إذا ما قورنت بالأحمال المؤثرة باختبار برينل.
- يمكن بواسطته تحديد صلادة المعادن الرقيقة السُمك والتي لا يصلح لها اختبار برينل فمثلاً يمكن ايجاد صلادة شفرة الحلاقة بواسطة اختبار ڤيكرز.

ملاحظة:

في اختبار برينل او ڤيكرز في حالة ما إذا كان سطح العينة مقوساً او يوجد فيه اعوجاج او ان الاثر بيضوي(برينل) فيجب في هذه الحالة اخذ القيمة المتوسطة لقطر الاثر باستخدام العلاقة التالية:

$$d = \frac{d_١ + d_٢}{٢}$$

اختبار روكويل للصلادة (مقياس روكويل Rockwell scale)

هو اختبار للصلادة يعبر عن مدى مقاومة مادة ما للخدش. تعتمد القيم الناتجة عن اختبار روكويل على المقارنة بين قياسيّ عمقيّ اختراق أداة الخدش في الاختبار، عند استخدام حملين مختلفين .هناك مستويات مختلفة للاختبار يعبر عنها بأحد الأحرف، وتختلف عن بعضها بحسب قيمة الحمل المستخدم أو نوعية أداة الخدش. القيم الناتجة تعبر عن أرقام لا بعدية، يرمز لهما بالرمز " HRX " حيث " X " هو الحرف الذي يعبر عن مستوى الاختبار.
عند تطبيق هذا الاختبار على المعادن، فغالباً ما تتناسب القيم الناتجة مع قيم إجهاد الشد لها.
تتحدد قيم الصلادة باستخدام اختبار روكويل لمادة ما عن طريق التأثير عليها بحمل صغير يليه حمل كبير، ثم المقارنة بين عمقيّ الاختراق. تتحد بعد ذلك قيمة الصلادة مباشرة باستخدام جداول معينة.

مميزات الاختبار

١. يمتاز الاختبار بقدرته على عرض قيم مباشرة للصلادة، وبالتالي تفادي الحسابات المملة في بعض اختبارات قياس الصلادة الأخرى.

٢. بعض أجهزة هذا الاختبار محمولة، مما يعطي إمكانية لاستخدامه في أماكن مختلفة.

٣. الموثوقية في القيم الناتجة.

٤. السرعة في الاختبار.

٥. صغر مساحة الخدش، مما يجعل الاختبار يصنف من الاختبارات اللاإتلافية

الرمز	الحمل المستخدم	أداة الخدش	الاستخدام

HRA	٦٠ kgf	١٢٠°مخروط ماسي	شرائح الصلب المصلد الرقيقة والمعادن والسبائك شديدة الصلادة وإذا أريد الأثر الحادث صغيراً
HRB	١٠٠ kgf	كرة من الصلب قطرها ١٦\١ بوصة	الصلب الكربوني الطري والمتوسط والألواح والقضبان المعدنية الطرية
HRC	١٥٠ kgf	١٢٠°مخروط ماسي	الصلب المصلد والسبائك الحديدية والسبائك المعدنية ذات صلادة أكثر من روكويل ١٠٠
HRD	١٠٠ kgf	١٢٠°مخروط ماسي	شرائح الصلب الرقيقة ومتوسطة السُمك المصلد والحديد المطاوع(طري).
HRE	١٠٠ kgf	كرة من الصلب قطرها ٨\١ بوصة	حديد الزهر، الالومنيوم وسبائك المغنسيوم، معادن المحامل
HRF	٦٠ kgf	كرة من الصلب قطرها ١٦\١ بوصة	سبائك النحاس الصلبة، شرائح المعدنية الرقيقة
HRG	١٥٠ kgf	كرة من الصلب قطرها ١٦\١ بوصة	سبائك البرونز الفسفوري، البريليوم النحاسية، الحديد المطاوع، الزنك، الالومنيوم والرصاص
HRK	١٥٠ kgf	كرة من الصلب قطرها ٨\١ بوصة	معادن المحامل الرقيقة، البلاستيك والمعادن الرقيقة جدا الاخرى
HRL	٦٠ kgf	كرة من الصلب قطرها ٤\١ بوصة	
HRM	١٠٠ kgf	كرة من الصلب قطرها ٤\١ بوصة	
HRP	١٥٠ kgf	كرة من الصلب قطرها ٤\١ بوصة	
HRR	٦٠ kgf	كرة من الصلب قطرها ٢\١ بوصة	
HRS	١٠٠ kgf	كرة من الصلب قطرها ٢\١ بوصة	
HRV	١٥٠ kgf	كرة من الصلب قطرها ٢\١ بوصة	

احتياطات واجبة

تراعى عدة احتياطات لضمان دقة النتائج الناتجة عن الاختبار مثل:

١. أن يكون سمك المادة المختبرة على الأقل ١٠ أضعاف عمق الخدش الناتج عن الاختبار.

٢. أن يكون سطح الاختبار مستوياً، وأن يكون الحمل المستخدم عمودياً على السطح، وإلا قد يستخدم معامل تصحيح (Correction factor).

المتانة (Toughness)

وهي قدرة المادة على مقاومة الأحمال الديناميكية وامتصاص الطاقة الميكانيكية اثناء تحميلها دون اعادتها كليا وهي اقل كمية من الطاقة تمتصها المادة وتلزم لحدوث الكسر ويستخدم اختبار الصدم (*Impact Test*) لغرض قياس متانة المعدن.

اختبار الصدم (Impact Test)

هو عملية تجري على قطعة الاختبار لتعين خاصية المتانة تحت تأثير قوة صدم بواسطة كتلة كبيرة نسبياً متحركة ويكون التحميل فجائياً أي يستغرق فترة قصيرة جداً من الزمن.
وتعتبر المتانة الخاصية التي تعبر عن الشغل المبذول المسبب لتصدع العينة وتعتمد المتانة اساساً على المقاومة والمطيلية. كما ان اختبار الصدم يبين مدى مقاومة المادة للانهيار عند تعرضها لقوى الصدم تحت ظروف التشغيل اي ان معدل امتصاص الطاقة عند الصدم يؤثر على سلوك المواد وبالتالي على جودتها.
هناك عدة طرق لهذا الاختبار ومن هذه الاختبارات اختبار آيزود وتشاربي وهما الاختباران الأساسيان في اختبارات الصدم؛ وفي كلا الاختبارين يؤثر حمل الصدم على العينة المختبرة من ثقل متأرجح من ارتفاع وليكن(*H1*) حسب الشكل؛ فإذا أطلق الثقل من هذا الارتفاع ليصطدم بالعينة المحزوزة فإن مساره يكون قوساً من دائرة نصف قطرها هو ذراع البندول وتكون نتيجة اصطدامه بالعينة وكسرها أن يرتفع إلى ارتفاع آخر أقل وليكن(*H2*)ويعتمد هذا الارتفاع الجديد على مقاومة المادة للصدمات فكلما زادت مقاومتها كلما قل هذا الارتفاع .وعلى ذلك تصبح الطاقة المستهلكة في كسر العينة هي

$U=w\,(H_1 - H_2)$

(U) الطاقة المستهلكة في الكسر

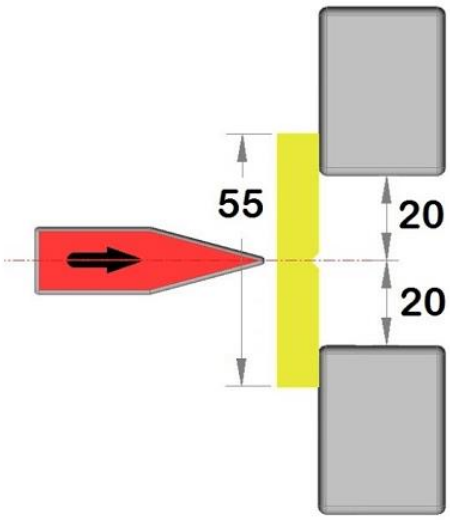
(w) كتلة المطرقة

(H_1) ارتفاع الثقل قبل الصدم

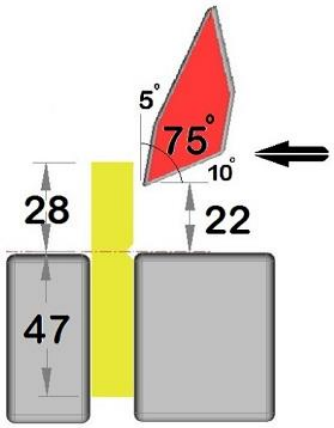
(H_2) ارتفاع الثقل بعد الصدم

وتعطى الطاقة غالبا الكيلو نيوتن. قدم في حالة اختبار آيزود، أو بالكيلو نيوتن. متر في حالة اختبار تشاربي. تسمى قيمة آيزود للصدم أو قيمة تشارلي للصدم.

تختلف طريقة آيزود عن طريقة تشاربي في طريقة تثبيت العينة كما موضحة بالشكل.



وضع العينة في إختبار تشاربي

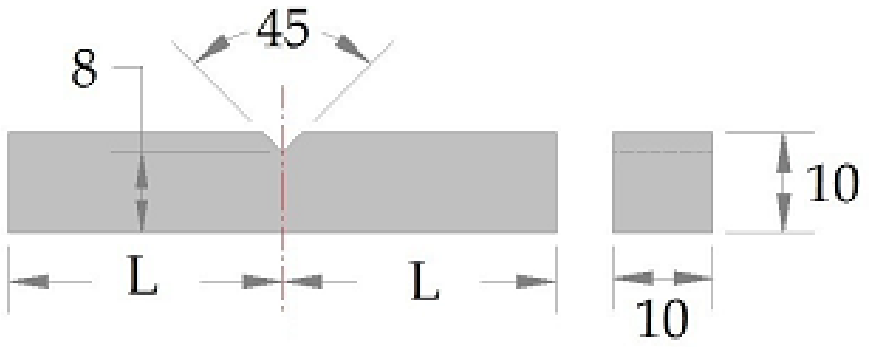
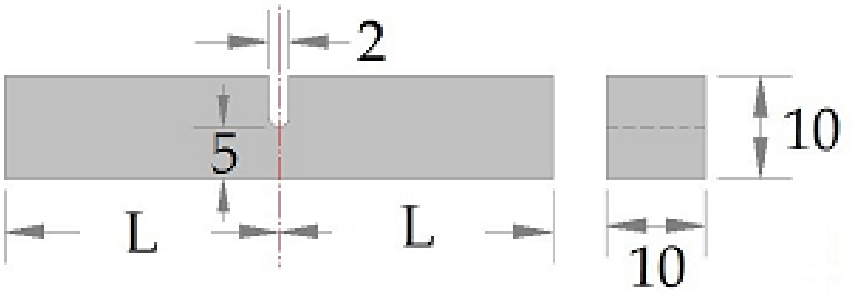
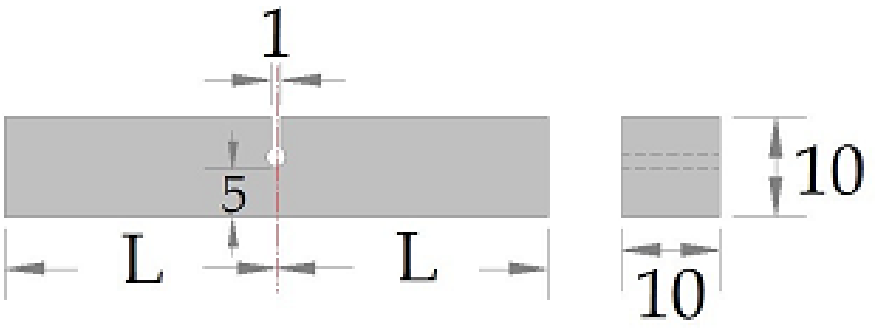


وضع العينة في إختبار آيزود

وتوجد أنواع متعددة من ماكينات الاختبار تختلف باختلاف التصميم والصانع، منها على سبيل المثال الماكينة العامة (الجامعة) التي يمكن أن تجري كلا اختباري آيزود وتشاربي، ومنها الماكينة التي تسجل كهربائياً التأثير خلال مدة الصدمة، وأحياناً قد تزود ببعض الأجزاء الإضافية لتحديد الطاقة المطلوبة بكسر عينة غير محزوزة مثل عينات الحديد الزهر.

وتستخدم العينات المحزوزة في كل من اختباري آيزود وتشاربي لتحديد مكان كسر العينة وتسهيل الكسر في حالة المواد المطيلة نتيجة وجود تركز إجهاد عند قاع الحز يضعف من مقاومتها للصدم.

وشكل الحز في قطعة اختبار آيزود للصدم ثابت بكل العينات وهي زاوية (٤٢°) بعمق (١ملم) أما في حالة اختبار تشاربي للصدم فتكون بأشكال مختلفة كما هو موضح بمواصفات هذا الاختبار.ويلاحظ عند مقارنة مقاومة الصدم للمعادن باختبار تشاربي أن يكون تحضير عينات الاختبار بحز موحد لإمكان صحة المقارنة؛ حيث إن تغير شكل الحز يؤثر تأثيراً واضحاً على مقاومة الصدم.

عينات الصدم البندولي بأشكال مختلفة	
قطعة رقم (١) على شكل حرف V	
قطعة رقم (٢) على شكل حرف U	
قطعة رقم (٣) على شكل ثقب مفتاح	

الخواص الحرارية (Thermal Properties)

تقوم الخواص الحرارية بقياس التغيير الناتج في المادة نتيجة تعرضها للحرارة ومن ذلك لتوصيل الحراري والتمدد الحراري.

التوصيل الحراري (Thermal Conductivity)

يعرف التوصيل الحراري بقابلية المادة للسماح للحرارة بالمرور فيها؛ فإذا انتقلت الحرارة خلال المادة بسرعة فإن المادة جيدة للتوصيل الحراري، أما إذا كان مرورا بطيئاً فذلك يعتبر توصيلا حراريا سيئا.

التمدد الحراري (Thermal expansion)

هو مقدار التغير في أبعاد المادة عند ارتفاع درجات الحرارة ولكل مادة معامل تمدد معين.

الخواص الكهربائية للمواد

(المواد الأيونية، المواد العازلة، المواد الفلزية، العوامل المؤثرة على الموصلية).

الموصلية الكهربائية

وهي قابلية المادة على توصيل التيار الكهربائي عن طريق حركة الالكترونات الحرة أو الايونات أو كليهما. وهي خاصية مهمة من خصائص أي مادة وتمثل قدرتها على نقل الشحنات الكهربائية من مكان إلى آخر، وتعكس مقدار قابلية مادة ما لمرور التيار فيها، وفي المواد الموصلة كهربائياً فان الموصلية هي مقلوب المقاومة.

المقاومة الكهربائية

وهي إعاقة المادة لمرور التيار الكهربائي (الإلكترونات) خلالها. وتحدث الإعاقة في المادة سواء أكانت من الموصلات كالفلزات أو غير الموصلات ولكن بدرجات مختلفة. يلزم للإلكترونات التغلب على هذه المقاومة للوصول إلى تعادل في الشحنة. وحدة المقاومة هي الأوم (Ω).

الموصلات الكهربائية

هي المواد التي تحوي على عدد كبير من ناقلات الشحنة الطليقة والتي تمر من خلالها بسهولة عند وجود مجال كهربائي خارجي مسلط عليها، وتأتي المعادن في مقدمة هذه المواد ومنها النحاس والفضة والألمنيوم وبعض السوائل جيدة التوصيل للكهربائية مثل المحاليل الالكتروليتية.

المواد العازلة

ويقصد بها تلك المواد التي لا تمرر خلالها الشحنات الكهربائية في الحال، فهي تتكون من ذرات فيها جميع الكترونات المدار الخارجي مشدودة بالنواة بأواصر ربط قوية جداً بحيث يصعب التغلب على طاقة الربط بها، وهذا يعني أنها لا تمتلك الكترونات طليقة بالأعداد التي تضمن حصول التوصيل الكهربائي أو الحراري فيها. ان المواد العازلة تكتسب وتخسر الالكترونات عند نقاط تماس الجسمين فقط، ومن أمثلة المواد العازلة للكهرباء: المايكا والزجاج والخشب والورق والشمع والكبريت والمطاط الصناعي والبلاستيك والمطاط والغازات في الحالة العادية.

أشباه الموصلات

وهي مواد تتوسط في قدرة توصيلها الكهربائي ما بين الموصلات والعوازل. فهي تشمل عناصر ومركبات ضمن مجاميع .وكما تم الإشارة إليه فان الكربون وبقية المواد البلورية النقية من المواد شبه الموصلة رباعية التكافؤ كالجرمانيوم والسليكون تعد عوازلاً قوية في درجات حرارة منخفضة قريبة من الصفر المطلق، إلا أنها بتأثير الإثارة الحرارية (Thermal Agitation) تظهر خصائص أشباه الموصلات إضافة إلى فعل الشوائب في زيادة إظهار وتحسين هذه الخصائص.

الخواص المغناطيسية للمواد

(المواد الفيرومغناطيسية، المواد البارامغناطيسية، المواد الدايامغناطيسية، التخلف المغناطيسي، العوامل المؤثرة على المغناطيسية).

المغناطيسية

منذ زمن الإغريق أي قبل أكثر من ألفي عام اكتشف في منطقة مغنيسيا بوسط آسيا الصغرى أحجار طبيعية سوداء، وهي قطع من الصخور الحاملة للحديد، لها القابلية والمقدرة على جذب بعض المعادن كقطع الحديد الصغيرة والقريبة منها، أطلق على هذه الأحجار اسم الأحجار المغناطيسية نسبة إلى اسم منطقة اكتشافها. وفي أواخر القرن الثاني عشر للميلاد عُرِف لهذه الأحجار خاصية أخرى وهي أن الحجر المعلّق من وسطه يميل عندما يترك حر الحركة بحيث أن طرفيه يشيران إلى اتجاهي كل من الشمال والجنوب الجغرافيين، وإذا غير اتجاه هذا الحجر المعلّق فانه يتحرك تلقائياً ليعود إلى وضعه الأول. وقد أمكن نقل الخواص التي تتميز بها تلك الأحجار إلى قطع من الحديد غير الممغنط وذلك بدلك قضيب من الحديد المطاوع بقطعة من هذه الأحجار لبعض الوقت في اتجاه واحد، فتنتقل بذلك بعض من القوى المغناطيسية الموجودة بالحجر المغناطيسي إلى قضيب الحديد ويتحول بذلك إلى قضيب مغناطيسي. وقد استعملت مثل هذه القضبان أو الإبر الحديدية المصنّعة بهذه الطريقة في تحديد اتجاهي الشمال والجنوب المغناطيسيين، وقد كانت هذه هي أول الطرق المستعملة لتصنيع البوصلة المغناطيسية (Compass) وبالطبع فقد تطورت مثل هذه البوصلة البدائية حتى وصلت إلى شكلها الحالي المتطور.
البوصلة المغناطيسية عبارة عن إبرة مغناطيسية رقيقة ترتكز عل محور من منتصفها ويحيط بهذه الإبرة تدريج دائري لتقدير الانحراف بالدرجات بالنسبة لاتجاهي الشمال والجنوب الجغرافيين حيث أن الإبرة المغناطيسية لا تشير تماماً إلى اتجاهي الشمال والجنوب الجغرافيين ولكنها تنحرف قليلاً عن هذا الاتجاه، ويطلق على الاتجاه الذي تشير إليه الإبرة المغناطيسية باتجاه الشمال والجنوب المغناطيسي.

المواد الفيرومغناطيسية (Ferromagnetism)

وهي المواد التي تكون قابليتها المغناطيسية كبيره جدا ،وتعرف كذلك باسم (المواد الحديدومغناطيسية) نسبة الى الحديد الذي يعد اشهر هذه المواد وتمتاز بان لها تمغنط كبير وسبب التمغنط العالي في المواد الفيرومغناطيسية يعود بصورة رئيسية الى وجود نوع من التأثير المتبادل يدعى (التقارب المتبادل) بين ذرات كل مجموعة من الذرات المتجاورة للمادة وبقائها متراصفة باتجاه وحد ,اما طبيعة هذا النوع من التأثير المتبادل الذي ينتج عنه قوى كبيرة تعمل على ابقاء العزوم المغناطيسية لذرات المجموعة الواحدة متوازية ،ان كل مجموعة من الذرات التي تكون عزومها باتجاه واحد تدعى (منطقة) ،ان تمغنط المادة الفيرومغناطيسية يعتمد على درجة حرارتها فلكل مادة درجة حرارة معينة تسمى (درجة حرارة كوري) تفقد عندها المادة خواصها المغناطيسية وتتحول الى مادة بارامغناطيسية ،من المواد الفيرومغناطيسية هي الحديد والنيكل والكوبلت.

مميزات المواد الفيرومغناطيسية

- تمتاز بقابليتها على اكتساب تمغنط عالي.
- ان القابلية المغناطيسية عالية جداً ($X>>1$) أكبر من واحد.
- النفوذية المغناطيسية ليست مقدارا ثابتا.
- ان القابلية المغناطيسية (X) لهذا المواد تعتمد على المجال الممغنط.
- تعتمد المواد الفيرومغناطيسية على التاريخ المغناطيسي للعينة.

المواد البارامغناطيسية

وهي المواد التي تنجذب للمناطق القوية في المجال المغناطيسي وقابليتها المغناطيسية موجبة .ونلاحظ اذا تعرضت عينة من الذرات تمتلك عزما مغناطيسيا دائما (ثنائيات الاقطاب المغناطيسية) الى مجال مغناطيسي خارجي لنشأ عزم يدور ثنائيات الاقطاب المغناطيسية المكونة لها (اي العينة) ويجعلها تتراصف باتجاه المجال المسلط فينتج عن ذلك تمغنط اضافي (لكنه ضعيف) يعمل على تقوية المجال المسلط ،هذه الظاهرة تدعى (البارامغناطيسية) وينتج عن تراصف ثنائيات الاقطاب تيارات الكترونية داخل العينة البارامغناطيسية يؤدي الى نشؤ تيارات التمغنط السطحية ،وهذه التيارات تكون بنفس اتجاه تيار التمغنط بينما تكون بعكس تيار التمغنط ان كانت المادة دايامغناطيسية ، ان التمغنط ينشأ في المواد البارامغناطيسية على الرغم من كونه ضعيفا يعد اكبر من تمغنط المواد الدايامغناطيسية ولذلك يؤدي الى حجب التأثيرات الدايامغناطيسية كليا ولم يدعها تظهر في المواد البارامغناطيسية، فاذا قربت قطعة من مادة بارامغناطيسية من مغناطيس قوي لشاهدنا انها تنجذب قليلا.

مميزات المواد البارامغناطيسية

- القابلية المغناطيسية لهذا المواد اقل بكثير من الواحد (X<<١).
- تكون المواد البارامغناطيسية ذات قابلية مغناطيسية موجبة.

الدايامغناطيسية

وهي المواد التي لها قابلية مغناطيسية سالبة أي انها تتنافر مـــع الأجزاء القوية من المجال المغناطيســـي اذا وضعت فيه ، و ان المجال المغناطيسي يؤثر بقوة على الشحنات المتحركة فيه ،فمن الطبيعي اذن ان تتعرض الالكترونيات التابعة لذرات وجزيئات المادة الى هذه القوة الاضافية الناتجة عن المجال المغناطيسي المستخدم ،وتتيح هذه القوة الاضافية تغيير في حركة الالكترونات في الذرة ممـــا يؤدي الى تكوين ما يكافـــئ تيارا إضافيا محتثا فيه ,وبذلك ينشئ عنه عزم مغناطيسي محتث للإلكترون في الذرة ويكون بعكس المجال المغناطيسي المستخدم ،وعلية فالمادة ككـــل تكسب تمغنطا معاكسا لهذا المجال الخارجي فتضعفه لذلك تدعى هذه الظاهرة بالدياالمغناطيسية ، فعند تقريب مادة دايامغناطيسية كالبزموث مثلا من مغناطيس قوي نلاحظ نفوره عنه، ان الدايامغناطيسية موجودة في جميع المواد دون استثناء ولكنها قد لا تظهر في الكثير من المواد وذلك لوجود مؤثر اخر مضاد اقوى منها فيحجبها ويمنع ظهورها .

مميزات المواد الدايامغناطيسية

- تكون ذات قابلية مغناطيسية (X) سالبة.
- تكون أصغر من الواحد (١ > X).
- ان النفوذية النسبية للمواد الدايامغناطيسية تكون اقل من الواحد بقليل.

نلاحظ عند تسليط مجال المغناطيسي على مادة دايامغناطيسية يتولد عزم مغناطيسي محتث يكون اتجاهه ضد المجال المسلط وهذا يفسر نفور قطعة البزموث او الأنتيمون او النحاس عند تقريبها من مغناطيس قوي.

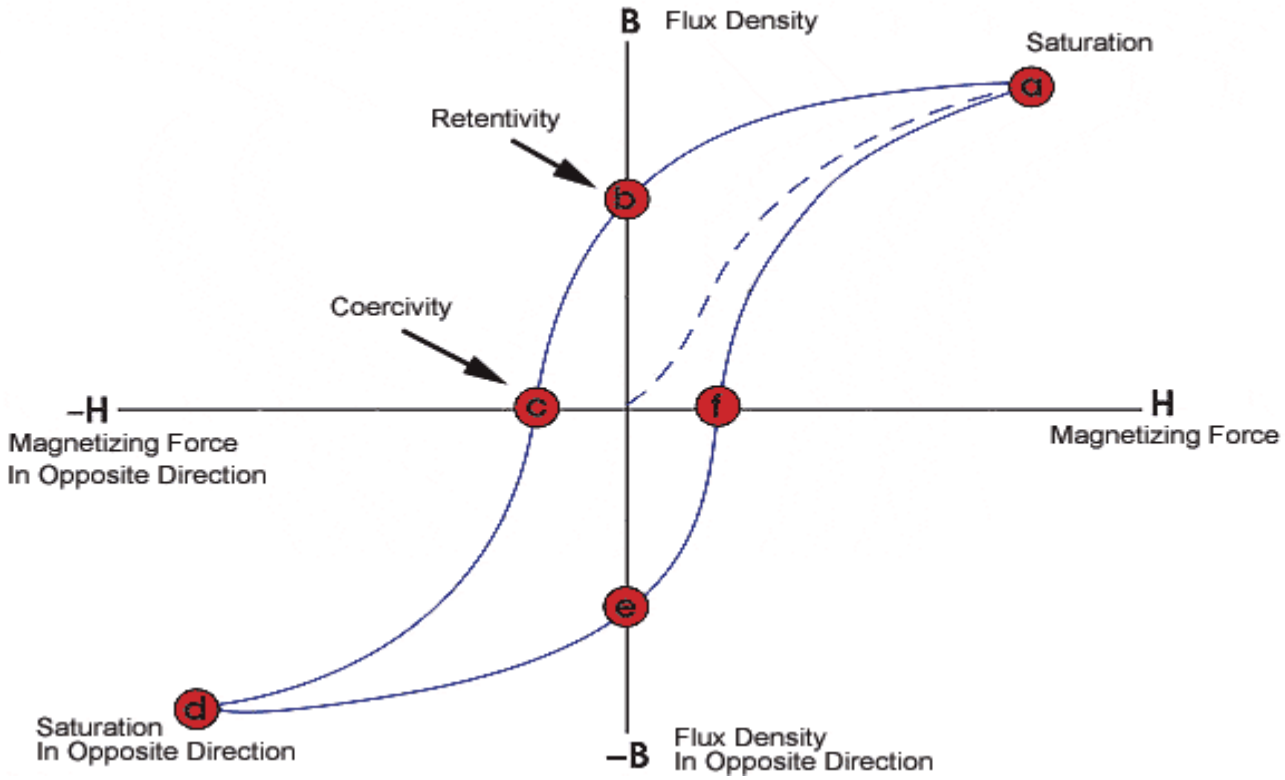
التخلف المغناطيسي (الهسترة)

الهسترة خاصية من خصائص المواد ذات الخصائص المغناطيسية العالية (الفيرومغناطيسية) وهي تنشأ من طبيعة تكوّن ما يسمى بالمقاطعات (domains) البلورية ويكون لهذه المقاطعات اتجاه تمغنط واحد له قطبان شمالي وجنوبي. وفي مادة الحديد مثلا توجد في قطعة الحديد عدد كبير من هذه المقاطعات المرتبة عشوائيا مما يؤدي الى ان تلغي الواحدة التأثير المغناطيسي للأخرى مما ينشأ عنه ملاحظة ان مادة الحديد ليس لها خاصية الجذب المغناطيسي بالحالة الاعتيادية ولكن عند تسليط مجال مغناطيسي خارجي على الحديد تبدأ هذه المقاطعات بالاصطفاف تدريجيا وبما ينشا عنه اتجاه تمغنط واحد وظهور خاصية التمغنط في الحديد. المهم كلما كان المجال الخارجي المسلط اكبر تزداد استجابة المقاطعات للمجال وتصطف معه الى حين الوصول الى درجة الاشباع الكلي في الحديد والتي تكون فيها كل المقاطعات مصطفة باتجاه المجال المغناطيسي الخارجي وبعده نلاحظ ان تأثير الحديد يبدا بالتلاشي حيث لا يستجيب الحديد بعدها لزيادة المجال العلاقة اعلاه بين المجال الخارجي المسلط وتمغنط الحديد (B-H curve) ينشا عنها ما يسمى بحلقة الهسترة او التخلفية ومعنى كلمة hysteresis مشتق من hysteria اي التاريخ او زمن التخلف ومرد التسمية ان استجابة الحديد للمجال المسلط ليست مطلقة فعند تقليل المجال المسلط الى الصفر لا يكون المجال المتبقي بالحديد صفرا بل تكون له قيمة معينة ولا يعود للصفر الا بعكس المجال المسلط بالاتجاه السالب اي يوجد تخلف بالاستجابة للمجال المسلط.

مضار الهسترة ومعالجتها

ان خاصية الهسترة ليست كلها مضار فلولاها لما وجدت مادة المغناطيس والتي لها تطبيقات كثيرة ومعروفة، أما مضار الهسترة او التخلفية فهي تعني ضياع بالطاقة على شكل حرارة فيما لو أردنا الاستفادة من خاصية الاستجابة المغناطيسية للحديد كما في تطبيقات المحولات والمحركات الكهربائية.
فكلما ازدادت سعة حلقة الهسترة عني ذلك الموضوع ان خسائر الطاقة أكبر لأنه سيلزمنا طاقة أكبر للعودة بالمادة الى حالة الاصطفاف العشوائي وكلما زادت الطاقة المسلطة تتبدد حرارة اعلى ببلورات الحديد مما يعني خسائر اعلى
الان لتقليل خسائر الهسترة يتطلب الامر ايجاد مادة لها حلقة هسترة ضيقة او مساحتها صغيرة وكلما صغرت كلما قلت الخسائر وهذا الامر بالذات يطبق بحديد المحولات حيث حلقة الهسترة ضيقة جدا مما يعني حرارة ضائعة اقل لكل كيلوغرام من الحديد المستعمل
الحديد المستخدم بالمحولات يدعى cold rolled grain oriented silicon steel وهو حديد سليكوني مدرفل على البارد وله خصائص مغناطيسية ممتازة من ناحية قلة خسائره بالهسترة ولازال التطوير قائما بعلم المعادن لتقليل هذه الخسائر أكثر وأكثر مع الزمن

منحني الهسترة هو منحني العلاقة بين شدة المجال المغناطيسي الخارجي المسلط على المادة وكثافة الفيض المغناطيسي المحتثة بداخل المادة (B) كما في الشكل ادناه



كلما كانت مساحة حلقة الهسترة ضيقة وارتفاعها اعلى كان ذلك أحسن من ناحية التطبيق في حديد المحولات
وحدات شدة المجال المسلط هي (امبير/متر) او امبير-لفة بالمتر اما وحدات كثافة الفيض فهي (تسلا)
من المفيد الاشارة الى ان خسائر الهسترة تصفها معادلة تدعى Steinmetz formula وهي تشير الى ان الخسائر تعتمد على نوع الحديد وقيمة اقصى كثافة فيض مغناطيسي محتث بالحديد والتردد وحجم الحديد المستخدم والمعادلة هي

Wh = Steimentz coefficient * B^١,٦ * Freq. * Vol

التآكـــل CORROSION

التآكل عبارة عن تفاعلات كيميائية (تفاعلات أكسدة مصحوبة باختزال) تحدث على سطوح المعادن عندما يكون المعدن على صلة بالوسط المسبب للتآكل مثل الهواء الجوي أو المحاليل المائية وغيرها، أو يعرف أحياناً بأنه العملية العكسية لاستخلاص المعدن من خاماته والتآكل فشل يصيب سطح المعدن ينتج بسبب عوامل كيميائية أو بسبب عوامل كيميائية

تساعدها عوامل ميكانيكية متوفرة في الوسط الذي يعمل فيه المعدن وهناك نوع آخر في الفشل السطحي سببه ميكانيكي يدعى البلى Wear

البلى Wear: هو الفشل السطحي سببه ميكانيكي بحت والذي ينتج بسبب الاحتكاك بين سطح المعدن وتحت تأثير الجهود الخارجية.
الأمثلة عديدة على التآكل منها صدأ هيكل السيارة وعلب المواد الغذائية والصفائح والمقاطع الفولاذية وتأكل الأنابيب المدفونة في التربة، وهناك أمثلة أخرى على تآكل أجزاء معدنية عديدة تتعرض إلى أوساط صناعية مثل الأحماض والقواعد والمياه المالحة وما إلى غير ذلك.

العوامل والمؤثرات المتغيرة بظاهرة التآكل تجعله أكثر تعقيداً وبالاستطاعة تقسيم هذه العوامل المؤثرة على معدل التآكل في المعدن وسبائكه الى قسمين وهي:

١. طبيعة المعدن

- البناء المجهري للمعدن والسبيكة ووجود الشوائب والاطوار المتعددة في بناء المعدن من النظرة الميتالورجية.
- مكانة المعدن في السلسلة الكهروكيميائية.
- ربط معدن مع معدن اخر ذو طبيعة مختلفة.
- الاجهادات الداخلية المتبقية في المعدن.

٢. الوسط الذي يوجد فيه المعدن

- الرطوبة.
- الشوائب الموجودة في الجو.
- معدل وتوزيع الاوكسجين.
- الحامضية والقاعدية للسوائل.
- الاجهادات الخارجية.

أنواع التآكل

هناك عدة انواع من التآكل والشائع منه:

١. التآكل الكيميائي

ينشأ هذا النوع من التآكل من تعرض سطح المعدن للتأثير المباشر لوسط الغازات الجافة مثل الاوكسجين , ثاني اوكسيد الكبريت والكلور ويعتمد معدل الحدوث التآكل الى درجة كبيرة على قابلية المعدن بالاتحاد بالأوكسجين وعلى درجة الحرارة ويزداد معدل التأكسد عند درجات الحرارة العالية الى الحد الذي تتكون فيه قشور من الاوكسجين على سطح المعدن (الصلب).
الا ان دراسة عمليات التأكسد يقصد بها ذلك الذي يتم عند درجات الحرارية العادية فبالإضافة الى قابلية المعدن للاتحاد بالأوكسجين فان طبقة الاوكسيد المتكون لها دور كبير في تحديد مدى حدوث التأكسد فمثلا نجد ان طبيعة الاوكسيد الذي يتكون على سطح الألمونيوم النقي (وبعض سبائكه) تكون غشاءاً صلداً مما يمنع استمرار تغلغل الاوكسجين خلال الطبقة لذلك فان طبقة الاوكسيد في حالة الالمونيوم والسبائك التي تحتوي على النيكل والكروم تحمي سطح المعدن من

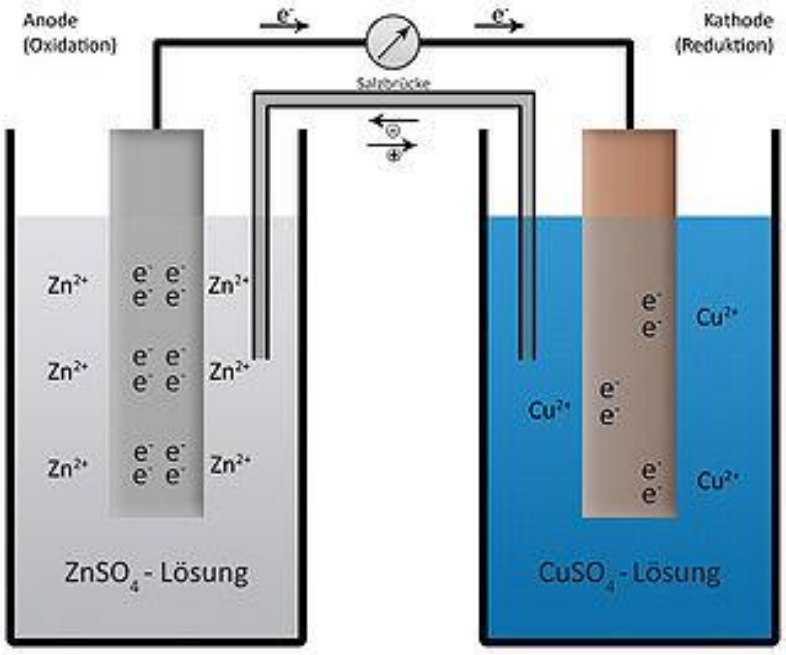
استمرار التأكسد بينما نجد ان طبقة الاوكسيد التي تتكون على سطح الحديد او الصلب تكون طبقة مسامية وغير متماسكة مما يسمح بتغلغل الاوكسجين خلالها وهكذا يتأكل الحديد بسرعة اكثر من الالمونيوم.

٢. التآكل الكهروكيميائي (الالكتروليتي)

يحدث هذا النوع من التآكل في محيط ربط ناقل للكهربائية ولدراسة طبيعة هذا التآكل نأخذ مثال لذلك خلية بسيطة تتألف من قطبين أحدهما من الزنك (الخارصين) والاخر من النحاس ويتصلان من الخارج بدائرة مقفلة وموضوعة داخل الملول الالكتروليتي من حامض الكبريتيك المخفف ونتيجة لوجود فرق الجهد القطبي بين النحاس والخارصين حيث نجد ان الخارصين يعتبر ذو جهد سالب بالنسبة للنحاس (كما موضح في جدول السلسلة الكهروكيميائية للمعادن) لذلك فعند توصيل الدائرة بين القطبين يتم تطبيق **النظرية الكهروكيميائية** التي تنص على **"ان كافة المعادن تتآكل او تذوب عندما تتحرر او تنطلق منها أيونات ذات شحنة موجبة , تنتقل الى المحيط الخارجي(المحلول)"**.

ففي المثال نجد ان ذرات الخارصين تترك سطح الزنك وتدخل المحلول على هيئة أيونات موجبة ($Zn^{٢+}$)

$$Zn \rightarrow Zn^{٢+} + ٢e$$



وفي هذا المحلول حيث تمر الالكترونات خلال الدائرة الخارجية الى قطب النحاس مما تنتج عنه مرور تيار كهربائي من النحاس الى الخارصين. وعند وصول تلك الالكترونات الى قطب النحاس فإنها تتحد مع أيونات الهيدروجين الموجودة في المحلول الالكتروليتي وتتكون جزيئات الهيدروجين التي تتصاعد على هيئة فقاعات عند المهبط.

$$٢H^{+} + ٢e \rightarrow H_{٢}$$

أما أيونات الخاصين التي تدخل المحلول الالكتروليتي فإنها تتحد مع أيونات الكبريتات ($SO_{٤}^{-}$) الناتجة من تأين حامض الكبريتيك المخفف مكونة بذلك كبريتات الزنك

$Zn^{2+} + SO^{2-} \rightarrow ZnSO_4$

وبذلك نحصل على تيار كهربائي على حساب فقدان الخارصين الذي يتآكل بسرعة أكبر مما لو كانت الدائرة غير المقفلة.

يتضح من المثال بانه حتى يتكون وسط الكتروليتي ينبغي وجود معدنين مختلفي الجهد القطبي فاذا كان أحدهما في اعلى السلسلة الكهروكيميائية والأخر في أسفل السلسلة الكهروكيميائية فان الأول الذي يطلق عليه الكاثود (المهبط) لا يتآكل بينما يتآكل الثاني والذي يطلق عليه الآنود (المصعد).

السلسلة الكهروكيميائية للمعادن	
	الجهد القطبي بـ(ڤولت) بالنسبة للهيدروجين
ذهب	+ ١,٧١
فضة	- ٠,٨٠
نحاس	- ٠,٥٠
هيدروجين	٠,٠٠
رصاص	- ٠,١٣
القصدير	- ٥,١٤
النيكل	- ٠,٢٥
الكاديوم	- ٠,٤٠
الحديد	- ٠,٤٤
الكروم	- ٠,٥٦
الزنك	- ٠,٧٦
الألومنيوم	- ١,٧٠
المغنسيوم	- ٢,٤٠
الصوديوم	- ٣,٧١

٣. التآكل الكهروكيميائي الجهدي

يحدث هذا النوع من الفعل المشترك للإجهادات الداخلية المتبقية في المعدن اثناء التآكل الالكتروليتي نتيجة التشكيل على البارد او المعالجات الحرارية مثل الطرق، الدرفلة او اللحام مع المؤثرات الكهروكيميائية التي تتولد في الوسط الذي يوجد فيه المعدن فالعمليات الميكانيكية السابقة تزيد من تولد الاجهادات عند منطقة حدود الحبيبات مما يودي يجعل تلك المناطق سالبة الجهد بالنسبة للحبيبات ذاتها مما ينجم عنه تآكل حدود حبيبات المعدن. كما ان احتكاك أجزاء المكائن بعضها مع البعض يؤدي الى التآكل ويحدث غالباً في المكائن مهتزة عندما يكون هنالك جزئان او عدة أجزاء في حالة اتصال او في حالة حركة متكررة صغيرة هذا التآكل يؤدي الى حصول تنقر شديد للسطوح وتكون دقائق صغيرة من الاكاسيد، ومن اثار هذا النوع من التآكل هو الفقدان الكبير في ابعاد قطعة المعدن وكذلك فقدان مقاومتها للكلال.

الأكسدة-الاختزال

تفاعلات أكسدة-اختزال: هي جميع التفاعلات الكيميائية التي يحدث فيها تغير في عدد أكسدة ذرات المواد المتفاعلة بسبب انتقال الإلكترونات فيما بينها.

الأكسدة: هي عملية فقدان للإلكترونات من قبل الذرات أو الجزيئات أو الأيونات ينتج عنها زيادة في الشحنة الموجبة أو نقصان في الشحنة السالبة.

الاختزال: هي عملية اكتساب للإلكترونات من قبل الذرات أو الجزيئات أو الأيونات ينتج عنها نقصان في الشحنة الموجبة أو زيادة في الشحنة السالبة.

ومثال ذلك التفاعل الأيوني هو:

$$\mathrm{Fe} + \mathrm{Cu}^{2+} \longrightarrow \mathrm{Fe}^{2+} + \mathrm{Cu}$$

حيث أن الحديد يتأكسد (عدد أكسدة الحديد ازداد من ٠ إلى +٢):

$$\mathrm{Fe} \longrightarrow \mathrm{Fe}^{2+} + 2e^{-}$$

والنحاس يختزل (عدد أكسدة النحاس تناقص من +٢ إلى ٠):

$$\mathrm{Cu}^{2+} + 2e^{-} \longrightarrow \mathrm{Cu}$$

الحديد، استخلاصه، الفرن العالي، المحولات.

الحديد عنصر كيميائي فلزي، وهو أحد أقدم المعادن اكتشافا. رمزه (Fe) من اللاتينية (ferrum) وعدده الذري ٢٦ يقع بالمجموعة الثامنة والدورة الرابعة من الجدول الدوري.

هو ضروري لحياة الإنسان والحيوان كونه يدخل في تركيب خضاب الدم، وكذلك لحياة النباتات كونه أحد العناصر الضرورية لتكوين الكلوروفيل, ويدخل في كل شيء تقريباً.

هو رابع العناصر تواجداً في القشرة الأرضية، غالباً ما يتواجد في الطبيعة في صورة أكاسيد. في هيئته العنصرية هو فلز قابل للطرق والسحب. ويعتبر الحديد وسبائكه أكثر المواد المعدنية استخداماً على الإطلاق. كما يُعتبر الحديد أكثر العناصر الكيميائية استقراراً على الإطلاق بسبب توازن القوة الكهرومغناطيسية والقوة النووية القوية داخل نواة الذرة، فالعناصر الأخفّ وزناً يمكنها من خلال الاندماج النووي - والعناصر الأثقل وزناً من خلال الانشطار النووي - أن يصبحوا أقرب في صفاتهم للحديد. تحتوي النيازك الساقطة على الأرض على كميات من الحديد قد تصل إلى ٩٠٪ من كتلة النيازك.

الحديد في الأصل فضي اللون، إلا أنه يتأكسد في الهواء. ويعد الحديد أقوى الفلزات على الإطلاق وأكثرها أهمية للأغراض الهندسية شرط حمايته من الصدأ (أي التفاعل مع الأكسجين). وهناك عدة طرق لحماية الحديد

من الصدأ وأبسطها على الإطلاق منع تماس الأكسجين أو الرطوبة عن الحديد وذلك بتغليف الحديد بمادة عازلة مثل استخدام الأصباغ أو عوازل PVC مثلاً. ومن أفضل الطرق المستخدمة لحمايته هي استخدام نظام الحماية الكاثودية لحماية الحديد من الصدأ والتآكل.

الحديد في حالته النقية أكثر ليونة من الألومنيوم، وتزداد صلادته بإضافة بعض العناصر السبائكية كالكربون بنسب معينة، فيتكون سبيكة الصلب، وهي أقوى ألف مرة من الحديد النقي. يتراوح تكافؤ الحديد بين (٢-) و(٦+)، إلا أنه في أشهر حالاته يكون تكافؤه (٢+) أو (٣+).

أهم خاماته

هي مواد أولية على هيئة اكاسيد او كربونات مع المواد العاطلة التي هي عبارة عن سيلكا (SiO_2) او الالومنيا (Al_2O_3) او أوكسيد الكالسيوم (CaO) او أوكسيد المغنسيوم (MgO) وفضلا عن هذه المواد هناك عناصر ضارة تختلط مع الخامات مثل الكبريت، الفسفور، الزرنيخ ومن اهم خامات الحديد الصناعية المستخدمة هي.

- **خام الحديد المغناطيسي (Magnetite)**

يدعى بالحجر المغناطيسي (Fe_3O_4) وتتراوح نسبة الحديد في هذا الخام ٥٠-٧٠٪ ويكون ذو لون رمادي غامق الى اسود.

- **حجر الحديد الأحمر الهيماتيت (Hematite)**

وهو أوكسيد الحديد (Fe_2O_3) غير المائي وتتراوح نسبة الحديد في هذا الخام ٣٠-٦٥٪ ويكون لونه احمر داكن.

- **حجر الحديد القهوائي، الليمونيت (الهيماتيت البني)**

وهو أوكسيد الحديد المائي ($2Fe_2O_3 3H_2O$) ونسبة الحديد فيه تتراوح في هذا الخام ٢٠-٥٠٪ ولونه بني ذو درجات مختلفة.

- **خام كربونات الحديد (Siderite)**

عبارة عن كربونات الحديد (Fe_2CO) وتتراوح نسبة الحديد فيه ٢٠-٤٠٪ ولونه رمادي.

استخلاص الحديد من خاماته

تعتمد تهيئة الخامات على العمليات التالية

١. **التكسير**: عبارة عن تقطيع وتكسير الخام في كسارات مخروطية او وجهية.
٢. **الفرز**: يفرز الخام المكسر على هزازات او غرابيل خاصة تفصل الاحجار الكبيرة عن الصغيرة وهذه الأخيرة يجري تلبيدها فيما بعد.

٣. **التحميص**: يتم تحميص الخامات لغرض جعلها مسامية سهل الاختزال وخالية من الشوائب الضارة.
٤. **الغسل**: يغسل الخام بالماء إذا كان يحتوي على نسبة كبيرة من الطين والرمل والشوائب وذلك بتسليط تيار قوي من الماء على هذه المواد العاطلة.
٥. **التركيز الكهرومغناطيسي**: يركز الخام إذا كان ذو خواص مغناطيسية وفي أجهزة خاصة تقوم فيها المغناطيسات الكهربائية بالتقاط أجزاء الخام وتلقى المادة العاطلة غير مغناطيسية بعيداً.
٦. **التلبيد:** يتم تلبيد الأحجار الصغيرة وغبار الخام والغبار المتطاير الراجع من قمة فرن العالي في أجهزة التلبيد لغرض تسويتها وجعلها احجاراً كبيرة.

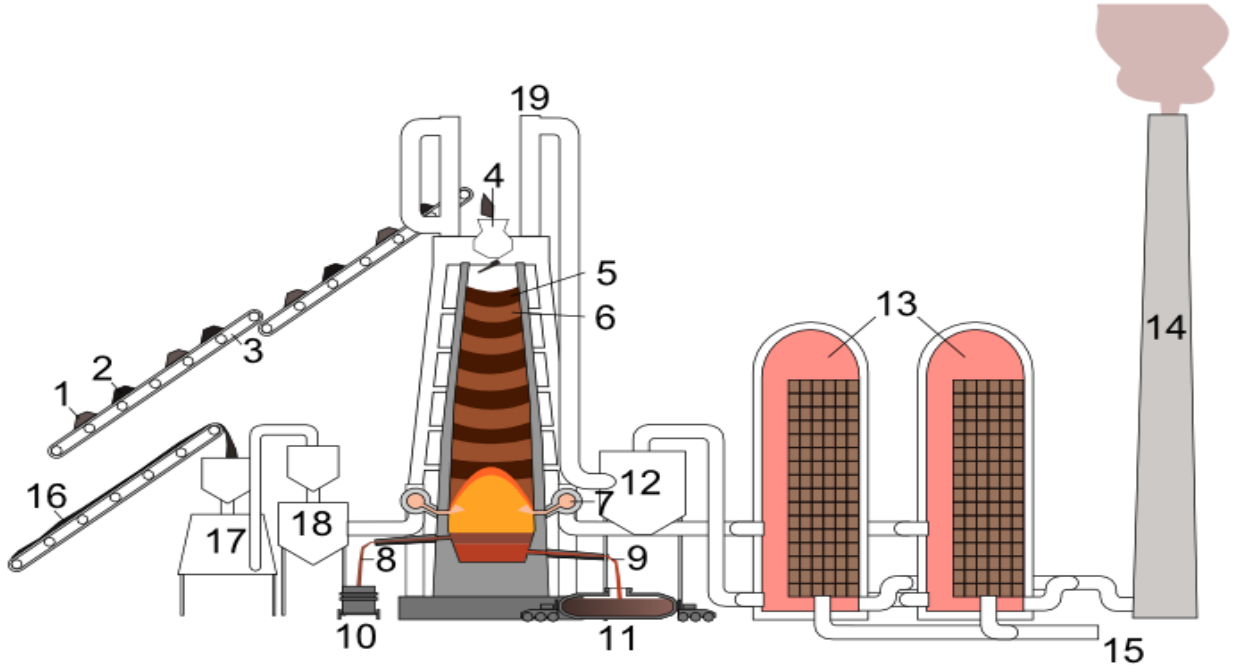
افران الصهر

الفرن العالي (Blast Furnace)

الفرن العالي (الفرن اللافح) عبارة عن برج ضخم مغلف من الخارج بصفائح الصلب ومبطن بمواد عازلة للحرارة ومزودة بوسائل للشحن من الأعلى ووسائل لإخراج المنصهر من الأسفل، وينفح الهواء من الأسفل قرب القاع فيسبب زيادة الاحتراق في الفرن فيحافظ على درجة الحرارة العالية المطلوبة. هو فرن لاختزال أو استخلاص الفلزات من خاماتها. يستخدم بصفة أساسية لإنتاج الحديد والصلب.

يسمى بالفرن العالي لأنه يتميز بهيكل ضخم عال بخلاف الأفران الصناعية الميتالورجية الأخرى وهي تسمية شكلية. قد يصل ارتفاعه الفرن العالي نحو ٣٠ متر. وتسمية (الفرن اللافح) موافق عليها من مجمع اللغة العربية بالقاهرة أدق وأفضل لأنها تسمية وظيفية حيث تختزل الخامات باستخدام تيار من غازات مختزلة (بكسر الزاي) تلفح كتل الخام داخل الفرن. ورغم ذلك فإنه بالألمانية يسمى أيضا "الفرن العالي".

في الفرن اللافح، يتم امداد الوقود في صورة الفحم الحجري وحديد خام بصفة مستمرة من أعلى الفرن. بينما يُنفخ الهواء (أحياناً مدعوم بأكسجين اضافي) في قاع الفرن، لكي تحدث التفاعلات الكيميائية في جميع أنحاء الفرن بينما المواد تتحرك للأسفل. المنتجات النهائية هي عادة معدن مصهور وخبث تسحب من أسفل الفرن، وغازات العادم تخرج من أعلى الفرن.



١. خام الحديد + حجر جيري	٢. فحم كوك	٣. سير رافع
٤. مدخل المواد	٥. طبقة من الكوك *coke*	٦. طبقة من خام الحديد أو الحجر الجيري
٧. المشاعل (نحو ١٢٠٠ °C)	٨. ازالة الخبث	٩. بزل الحديد المنصهر
١٠. وعاء الخبث	١١. عربة لحمل الحديد المنصهر	١٢. فصل الغبار وحبيبات
١٣. أفران للهواء الساخن	١٤. مخرج الدخان من المدخنة (*CCS*)	١٥. التغذية بالهواء (مسخنات الهواء الابتدائية)
١٦. مسحوق الفحم	١٧. فرن الكوك	١٨. الكوك
١٩. مخرج غازات الفرن		

فرن سيمنز

اخترع كارل فيلهلم سيمنز، فرن سيمنز في منتصف القرن التاسع عشر، وأعلن في عام ١٨٥٧ أنه يمكنه إعادة استخدام الحرارة الناتجة من الفرن لتوفير ٧٠-٨٠ % من الوقود. هذا الفرن يعمل في درجات حرارة عالية عن طريق التسخين المُسبق للوقود والهواء اللازمان لعملية الاحتراق .

يتم التسخين المُسبق، عن طريق إدخال الغازات الناتجة عن الفرن، وضخها في غرفة تحتوي على الطوب، حيث يتم نقل الحرارة من الغازات إلى الطوب. ثم يتم عكس اتجاه سير الغازات في الفرن بحيث يمر الوقود والهواء عبر الغرفة ويكتسبا حرارة الطوب. ويمكن من خلال هذا الأسلوب ان تصبح درجات الحرارة مرتفعة بما يكفي في فرن المجمرة المكشوفة لإذابة الصلب، وإن كان سيمنز لم يكن ينوي استخدامه لهذا السبب في بادئ الأمر.

فرن الموقد المفتوح "سيمنز-مارتن " (Open – hearth Furnace)

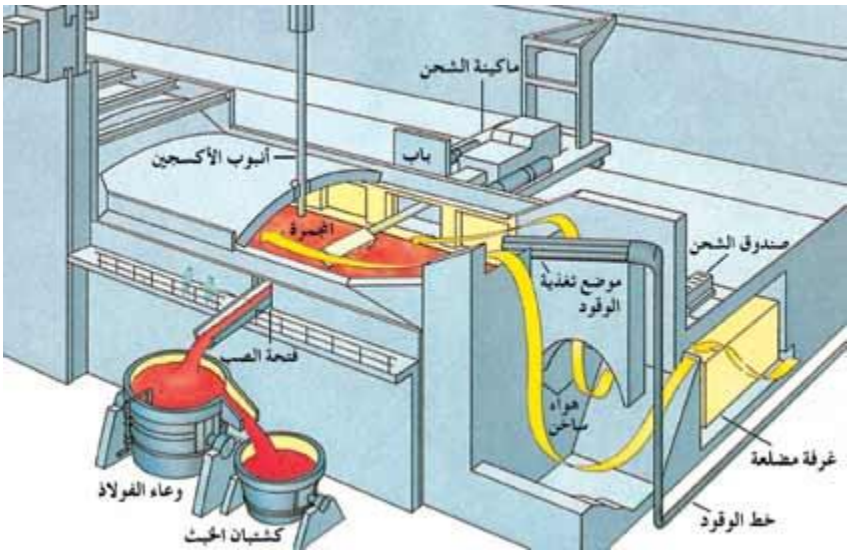
تقنياً، كان أول فرن مجمرة مكشوفة بدائي "الكير الكتالاني"، الذي اخترع في إسبانيا في القرن الثامن، ولكن من المعتاد أن يقتصر استخدام وصف فرن المجمرة المكشوفة على تلك الأفران التي اخترعت في القرن التاسع عشر.

هو أحد أنواع الأفران التي يتم فيها حرق الكربون الزائد والشوائب الأخرى من الحديد الغفل لإنتاج الصلب. لصعوبة إنتاج الصلب، نظراً لارتفاع درجة انصهاره، فكان الوقود والأفران العادية غير كافية لتوليد الحرارة اللازمة لصهر الصلب. لذا تم اختراع فرن المجمرة المكشوفة للتغلب على هذه الصعوبة. أغلق معظم أفران المجمرة المكشوفة قبل تسعينات القرن العشرين بسبب عدم كفاءة الوقود، واستعيض عنها بأفران الأكسجين القاعدي أو أفران القوس الكهربي.

في عام ١٨٦٥، حصل المهندس الفرنسي "بيير-إميل مارتن" على ترخيص من سيمنز، واستخدم الفرن لصناعة الصلب. عرفت تلك العملية باسم عملية سيمنز -مارتن، وعرف الفرن باسم فرن المجمرة المكشوفة. تعد أهم مميزات فرن سيمنز هي قدرته على الإنتاج السريع لكميات كبيرة من الصلب القاعدي، المستخدم في بناء ناطحات السحاب. تبلغ سعة الفرن من ٥٠ إلى ١٠٠ طن، ولكن في بعض الأحيان تصل إلى ٢٥٠ أو حتى ٥٠٠ طن.

عملية سيمنز-مارتن تتمم طريقة بسمر ولا تستعيض عنها. وهي بطيئة مما يجعل من السهل السيطرة عليها. كما يمكن استخدامها لصهر كميات كبيرة من الخردة، مما يخفض من تكاليف إنتاج الصلب، يعيد تدوير الخردة التي يصعب التخلص منها.

حلّ فرن أكسجين قاعدي محل فرن المجمرة المكشوفة. ففي الولايات المتحدة، توقف إنتاج الصلب باستخدام أفران المجمرة المكشوفة بحلول عام ١٩٩٢. أما أكثر الدول استخداماً لأفران المجمرة المكشوفة الآن هي أوكرانيا حيث لا يزال (٥٠ %) من إنتاجها ينتج من أفران المجمرة المكشوفة.



طريقة بسمر

هي أول عملية صناعية غير مكلفة لإنتاج كميات من الصلب المنصهر من تماسيح الحديد (الحديد الخام). نسبت هذه الطريقة لمخترعها هنري بسمر الذي حصل على براءة الاختراع العملية في ١٨٥٥. تعتمد الفكرة الأساسية للطريقة على إزالة الشوائب من الحديد عن طريق أكسدتها بدفع الهواء خلال الحديد المنصهر، فتتأكسد الشوائب وترتفع درجة حرارة الحديد ويبقى منصهراً نتيجة الحرارة الناتجة عن الأكسدة.

فرن أكسجين قاعدي: Basic oxygen steelmaking

ويعرف أيضا بطريقة لينز- دونافيتز لتصنيع الصلب وهي طريقة أولية لتصنيع الحديد الصلب حيث يتم فيها صهر حديد غفل (تماسيح حديد) ومعالجتها لإنتاج الحديد الصلب. يضغط الأكسجين خلال المصهور لغرض خفض نسبة الكربون فيه ويتحول إلى صلب منخفض الكربون. وتعرف الطريقة بأنها "قاعدية" حيث أن جدران البوتقة تكون مغطاة بمادتي أوكسيد الكالسيوم وأوكسيد المغنسيوم وتتحمل درجات الحرارة العالية.

ابتكرت تلك الطريقة من "روبرت دورر " في عام ١٩٤٨ وقامت بتنفيذها في عام ١٩٥٣/١٩٥٢ شركة فويست ألبين النمساوية. وقد سمي المحول الأكسجين باسم مدينتي لينز و دونافيتز وهي طريقة معدلة لطريقة بسمر حيث يستبدل الهواء المضغوط بالأكسجين المضغوط. هذا يخفض من تكلفة المصنع، ويقلل زمن المعاملة الحرارية، ويزيد من الإنتاجية.

انخفضت تكلفة أنتاج الصلب نحو ١٠٠٠ مرة خلال الأعوام بين ١٩٢٠ و٢٠٠٠، من ٣ ساعات عمل للطن إلى نحو٠,٠٠٣ ساعة عمل للطن وأصبح انتاج معظم الصلب في العالم يتم باستخدام فرن الأكسجين القاعدي، وقد بلغ انتاجه نحو ٦٠٪ من انتاج الصلب في العالم في عام ٢٠٠٠ .في وسع الأفران الحديثة استيعاب كمية تبلغ ٣٥٠طن وتحولها إلى حديد صلب خلال ٤٠ دقيقة، بينما تستغرق أفران القلب المفتوح لذلك بين ١٠ إلى ١٢ ساعة.

حديد غفل (تماسيح حديد)

الحديد الغفل (Pig iron): هو منتج أولي ينتج من صهر الحديد مع فحم الكوك مع استخدام الحجر الجيري كمخبث، ويستخدم بعد ذلك كمادة خام لإنتاج المنتجات الحديدية. يحتوي الحديد الغفل على نسب عالية جداً من الكربون، تصل عادةً إلى ٣,٥-٤,٥ ٪ من وزن السبيكة، مما يجعله هشا جداً ولا يمكن استخدامه مباشرةً إلا في بعض الحالات الخاصة.

يصنع الحديد الغفل عادة عن طريق صب الحديد المصهور في قوالب من الرمل، وعادة لا يعطى أي أهمية لحجم قطع الحديد الغفل لأنها سيعاد صهرها لإنتاج المنتج النهائي.

فرن القوس الكهربائي (Electric arc furnace)

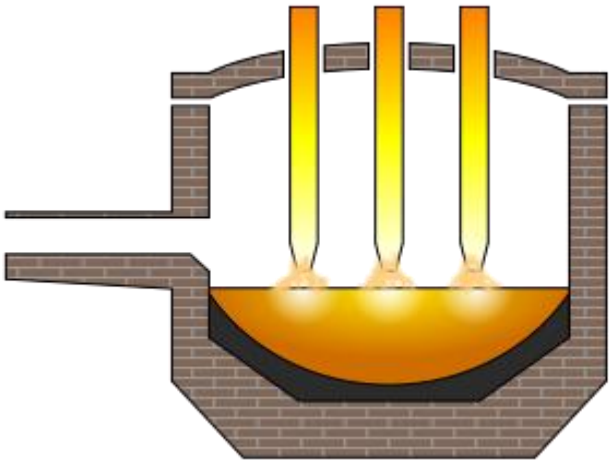
يستخدم فرن القوس الكهربائي لإعادة انصهار الحديد الخردة بغرض تدويره وانتاج فولاذ منه. تتراوح سعة الأفران الكهربائية بين طن واحد وأكثر من ٤٠٠ طن وقد تصل درجة حرارة هذا النوع من الأفران في المصانع أكثر من ١٨٠٠ ْ درجة مئوية بينما في المختبرات قد تتجاوز ٣٠٠٠ درجة.

في المختبرات تجرى تجارب عديدة بغرض تحسين الإنتاج وابتكار أنواع فائقة من الفولاذ ذو خواص جديدة من ضمنها المرونة والصلابة ومقاومة الصدأ وغير ذلك.

وتعتبر تقنية أفران القوس الكهربي من التقنيات الحديثة في إنتاج الحديد والصلب حيث بدأ استخدامها في نهاية السبعينات وبداية الثمانينات من القرن الماضي. تعتمد التقنية على استخدام تيار كهربي ذو جهد فائق لصهر الحديد الإسفنجي الناتج من عملية الاختزال المباشر

بالرغم من انتشار هذه التقنية وبالرغم من مميزاتها الكثيرة إلا أن نسبة ٣٢٪فقط من مصانع الصلب في العالم هي التي تستخدمها بينما لا تزال نحو ٦٥ %من صناعة الصلب في العالم تتم عن طريق تقنية الفرن العالي والمحول الأوكسجيني التي تعتمد اعتمادا كبيرا على الفحم وذلك لرخص تكلفته مقارنة بأسعار الكهرباء.

إن انتاج الفولاذ بواسطة فرن القوس الكهربائي يكون مرتفع التكلفة عن انتاج الحديد في فرن عالي .وبواسطة فرن القوس الكهربي يمكن انتاج جميع أنواع الحديد والصلب والفولاذ وهي تستخدم بقلة بسبب ارتفاع تكلفتها وذلك بغرض انتاج صلب بمواصفات عالية.



الصلب الكربوني واستخداماته:

الصلب الكربوني هو سبيكة من الحديد والكربون لا تتعدى نسبة الكربون فيها عمليا عن (١,٧٪) مع وجود بعض العناصر الأخرى مثل المنغنيز والسليكون والفسفور والكبريت والتي تعتبر كشوائب نتيجة لعملية إنتاج الصلب. ويجب ألا تزيد نسبتا الفسفور والكبريت في الصلب الكربوني عن (٠,٠٥٪) إلا في حالات خاصة

ونسبة Mn،Si عن (٠,٥٪) وحيث أن خواص الصلب الكربوني تتأثر كثيرا بنسبة الكربون الموجودة فيه مما يغير مجالات استخدامه وفقا لذلك واستنادا لذلك فبالإمكان تقسيم الصلب الكربوني إلى ما يلي:

١. **الصلب المنخفض والمعتدل الكربون**

الصلب المعتدل *(Mild steel)* هو أكثر أنواع الصلب الكربوني انتشاراً لأن سعره منخفض نسبياً، في الوقت الذي يوفر خصائص ميكانيكية مقبولة للعديد من التطبيقات. الصلب منخفض الكربون *(low carbon steel)* يحتوي على حوالي ٠,٠٥ -٠,١٥ % كربون أما الصلب معتدل الكربوني يحتوي على حوالي ٠,١٦-٠,٢٩ % كربون، ولذلك فهو ليس هش ولا مرن. للصلب معتدل الكربون إجهاد شد منخفض نسبياً، ولكنه رخيص ويسهل تشكيله، ويمكن زيادة تقسية

سطحه بالكربنة، أما استخداماته فهو يستخدم بتصنيع الصفائح، الأسلاك، الأسلاك الشائكة، المسامير، البراغي التي تستخدم لربط الأجزاء الخشبية، وكل الأجزاء التي تشكل على البارد والتي لا تحتاج إلى متانة عالية.

٢. **الصلب متوسط الكربون**

وفيه تتراوح نسبة الكربون من (٠,٢٥٪) إلى (٠,٥٪) ويتميز بكونه ذو متانة عالية وقابلية للتصلد أكثر من الصلب المنخفض الكربون وذلك نتيجة لارتفاع نسبة الكربون فيه وبناء على ذلك فهو نسبيا يعتبر صعب التشكيل على البارد، يستخدم الصلب متوسط الكربون في تصنيع الأجزاء التي تتطلب متانة عالية نسبيا، مثل الأعمدة والمحاور والتروس وغيرها من الأجزاء التي تتعرض لحمل أو اصطدام مفاجئ.

٣. **الصلب عالي الكربون**

وهو الصلب الذي تكون نسبة الكربون فيه (٠,٥٥٪ -١,٥٪) ويستخدم في تصنيع المعدات التي تتطلب متانة عالية مثل النوابض والمطارق ومفاتيح الربط. أما العدد التي تتطلب صلادة عالية جدا مثل المناشير الحديدية فتصنع من صلب نسبة الكربون فيه (١,٥ %) وهو قوي جداً، ويستخدم في صناعة الياياات والأسلاك التي تتعرض لقوى الشد العالية.

الصلب السبائكي *(Alloy steel)*

هو صلب يحتوي على خليط من العناصر الكيميائية بنسب تتراوح بين ١-٥٠ % من وزن السبيكة لتحسين خواصها الميكانيكية. تنقسم سبائك الصلب السبائكي إلى مجموعتين رئيسيتين :

- **سبائك الصلب قليل العناصر السبائكية**
- **سبائك الصلب كثير العناصر السبائكية** .

هناك اختلاف حول النسبة التي تفصل بين التصنيفين بين ٤ % أو ٨% ومع ذلك، يُقصد غالباً بمُسمّى "الصلب السبائكي" "سبائك الصلب قليل العناصر السبائكية."

الصلب السبائكي له قوة وصلادة في درجات الحرارة العالية ومقاومة للبلي وقابلية للتصلد مقاومة للكسر أكبر من الصلب الكربوني .ومع ذلك، فقد يتطلب الأمر إجراء معالجة حرارية للسبيكة لتحقيق هذه الخواص. أشهر العناصر السبائكية هي الموليبديوم والمنغنيز والنيكل والكروم والفناديوم والسيليكون والبورون.

العنصر	نسبته	تأثيره
الألومنيوم	٠,٩٥–١,٣٠	عنصر سبائكي في سبائك الصلب المنتردة
البزموث	-	يحسّن من قابلية التشغيل
البورون	٠,٠٠١– ٠,٠٠٣	يزيد قابلية السبيكة للتصلد بقوة
الكروم	٠,٥–٢	يزيد قابلية السبيكة للتصلد
	٤–١٨	يزيد من مقاومة السبيكة للتآكل
النحاس	٠,١–٠,٤	يزيد من مقاومة السبيكة للتآكل
الرصاص	-	يحسّن من قابلية التشغيل
المنغنيز	٠,٢٥–٠,٤٠	يتحد مع الكبريت ليمنع الهشاشة
	>١	يزيد قابلية السبيكة للتصلد

المولبيديوم	٠,٢–٥	مكوّن للكربيدات ويمنع نمو الحبيبات
النيكل	٢–٥	يزيد من مقاومة السبيكة للكسر
	١٢–٢٠	يزيد من مقاومة السبيكة للتآكل
السيليكون	٠,٢–٠,٧	يزيد من قوة السبيكة
	٢	يستخدم في صلب الياياات
	نسب أعلى	يحسّن الخواص المغناطيسية
الكبريت	٠,٠٨–٠,١٥	يحسن من خواص التشغيل
التيتانيوم	-	يثبّت الكربون في قلب الحبيبات ويقلل من صلادة المارتنسيت في سبائك صلب الكروم
التنجستين	-	يحسن الصلادة في درجات الحرارة العالية
الڤاناديوم	٠,١٥	يثبّت الكربيدات، يزيد من قوة السبيكة مع المحافظة على المرونة، تجعل البنية المجهرية ذات حبيبات صغيرة

تأثير العناصر المضافة على خواص الصلب

يمكن تحديدها بما يلي:

١. تقلل من حساسية الصلب لفعل الحرارة فتجعله يحتفظ بخواصه كالصلادة فى درجات الحرارة المرتفعة نسبيا ومثال على هذا صلب العدد الذي يمكن استخدامه في مدى من درجات الحرارة تصل الى (٥٥٠ م) دون أى انخفاض في قيمة صلادته.
٢. تؤثر كيماويا على الشوائب الموجودة فمثلا اضافة كمية قليلة من الفناديوم إلى الصلب يجعله نظيفا ويخلصه من الخبث الموجود فيه.
٣. تكون بعض العناصر مثل الكروم، الألمنيوم، السليكون، النحاس طبقة رقيقة من أوكسيدها على سطح الصلب مما يزيد من مقاومته للصدأ أو التآكل.
٤. تزيد من مقاومة الصلب للزحف حيث تكون كربيدات دقيقة وهذا ما يفعله عنصر المولبيديوم.

ان عناصر التسابك يمكن تصنيفها حسب تأثيرها على الصلب كما يلي:

a. عناصر تميل إلى تكون كربيدات مثل الكروم، التنجستن، التيتانيوم، الفناديوم، المولبيديوم، المنجنيز.
b. عناصر تميل إلى تحليل الكربيدات وانفصال الكربون على شكل جرافيت مثل السليكون، الكوبلت، الألمنيوم ، النيكل.
c. عناصر تميل إلى زيادة استقرارية الأوستنايت مثل المنجنيز (*Mn*)، النيكل (*Ni*) الكوبلت (*CO*) النحاس (*Cu*).
d. عناصر تميل إلى زيادة استقرار الفرايت مثل الكروم، التنجستن، المولبيديوم، الفناديوم، السليكون.

عناصر التسابك المختلفة وتأثيرها فى الصلب.

- **المنغنيـز**:

ان الصلب التجارى يحوى على نسبة تتراوح (٠,٣ % - ٠,٨ %) من المنجنيز وذلك لتقليل الأكاسيد ، وكذلك ليعادل التأثير الضار لكبريتيد الحديد (*FeS*) حيث يكون مع الحديد يوتكتك سهل الانصهار اذ ينصهر عند درجة (٩٨٥ م) ويؤدى ذلك إلى انكسار الصلب عند تسخينه تمهيدا لتشكيله على الساخن . أما اذا زادت نسبة المنجنيز عن ذلك فانه

سوف يتحلل فى الحديد ليولد (Mn_3C) بجانب السمنتايت (Fe_3C) . ان المنجنيز يؤدى إلى التقليل من (Ar_3) و(Ar_1) فيزيد من استقرار الاوستنايت ويزيد قليلا من قابلية الصلب للتقسية.

- **الكبريـت:**

لمنع تكون (FeS)، تضاف إلى الصلب نسبة مرتفعة من المنجنيز الذى يتحد مع الكبريت مكونا (MnS) ولايسمح فى أنواع الصلب المتداولة بزيادة نسبة الكبريت عن (٠,٠٥ %) وفى الأنواع الجيده منه عن (٠,٠٣ %) .

- **النيكـل:**

ان سلوك النيكل مشابه لسلوك المنغنيز، فالاثنان يخفضان من درجة حرارة التحول اليوتكتويدى ، فعلى سبيل المثال الصلب الحاوي على نسبة (١٢%) نيكل لايحدث فيه التحول اليوتكتويدى الا عند درجات حرارة أقل من (٣٠٠ م) أثناء التبريد ، أما أثناء اعادة التسخين فان الأمر يختلف ، عند ذلك لايتم التحول المعاكس الا عند درجة حرارة (٦٥٠ م).

- **الكـروم:**

من الممكن أن يذوب فى حديد الفا (□) أو حديد جاما (□) ولكن بوجود الكربون فان الكربيد المتولد يكون سمنتايت $[(FeCr_3)C]$ وهو يضاف للصلب المقاوم للصدأ أو الأكسدة .

- **النيكل والكروم:**

ان سبائك الصلب – نيكل تمتاز بمقاومة عالية للشد ومطولية ومتانة بينما سبائك الصلب – الكروم تتصف بكونها ذات صلادة عالية ومقاومة عالية للتآكل أما الجمع بين النيكل والكروم فى الصلب فيعطى صلبا سبائكيـا (صلب ، نيكل ، كروم) له كل هذه المميزات .

- **المولبيديوم:**
- من الممكن أن يذوب المولبيديوم فى حديد الفا (□) وحديد (□) وبوجود الكربون فانه يولد كاربيدات معقدة ، مثل $[Fe_{21}Mo_2C_6]$ و $[Mo_2C]$.

- **الفناديـوم:**

الفناديوم يعمل على ازالة الأكاسيد، وهو يولد كربيد (V_4C_3) ويؤثر بصورة ايجابية على الخواص الميكانيكية للصلب المعالج حراريا وخاصة وجود عناصر سبك أخرى.

- **التنجستـن:**

التنجستن يذوب في حديد (الفا) وحديد (***كاما***) وبوجود الكربون فانه يولد كربيدات (WC)، (W_2O) وبوجود الحديد فانه يولد (Fe_3W_3C) او (Fe_4W_2C)

- **السليكـون:**

السليكـون يذوب في الفرايـت ويزيـد من صلادتــه.

- **النحــاس:**

النحاس بذوب في الفرايت ولكن قابليـة ذوبانه محــدودة.

- **الكوبلــت:**

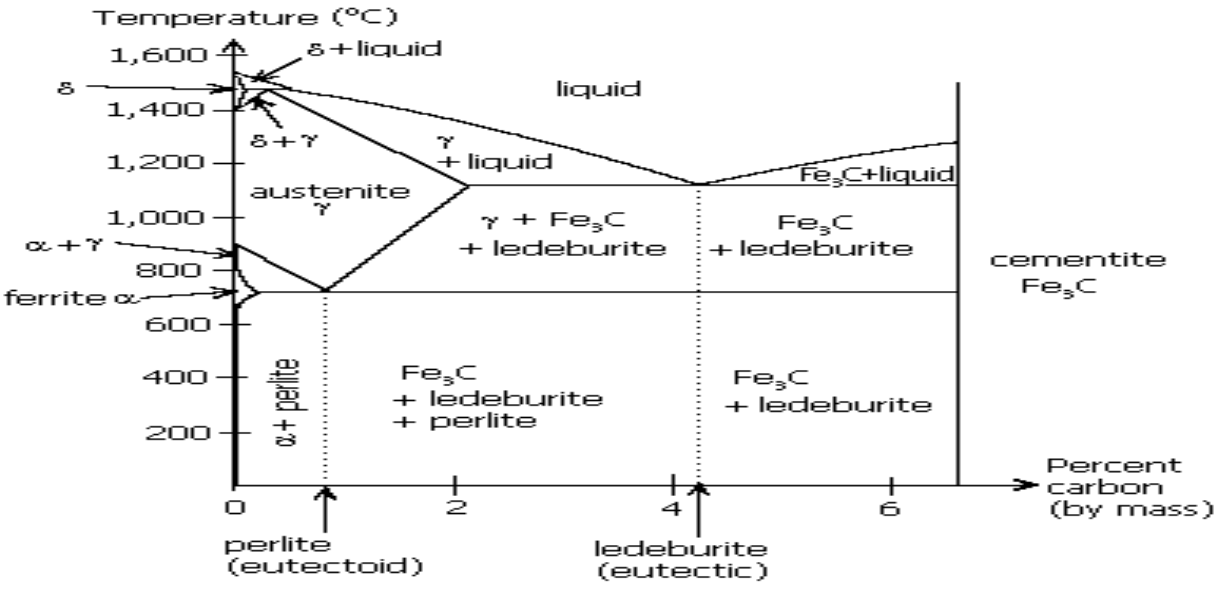
له قابليـة ذوبان عالية في حديد (□) وحديـد (□) ولكنه ضعيف في ميله لتكوين الكربيدات.

حديد الزهر

وهو نوع من المعادن الحديدية التي تتكون بشكل أساسي من الحديد الغفل (Pig iron) الذي يعاد صهره وصبه إما وحده أو بخلطه مع الحديد المستهلك أو الصلب وتتم عملية الصهر في أفران خاصة.

خواص حديد الزهر

- نسبة الكربون فيه من *2.1* إلى ٦,٦٧ كما في مخطط التوازن الطور.
- درجة انصهاره واطئة (*١١٥٠ C-١٢٥٠ C*).
- يمكن صهره بسهوله وبتكاليف واطئة.
- تكون للمعدن سيولة جيدة وقابلية لان يتخذ شكل القالب تماما بعد الانجماد.



أنواع حديد الزهر

توجد أنواع عديدة لحديد الزهر تعتمد على شكل الكربون الموجود فيه والتي من أهمها:

- حديد الزهر الأبيض *White Cast Iron*.
- حديد الزهر الرمادي *Grey Cast Iron*.

إذا كان الكربون متحدا بشكل سمنتايت فان حديد الزهر يكون صلداً وهشاً وغير قابل للتشغيل بالمكائن (Non-machinable) ,وإذا كسر يكون لون السطح المكسور ابيض لذا يسمى حديد الزهر الأبيض. أما إذا كان الكربون حرا ,بشكل كرافيت ,فان حديد الزهر يكون في هذه الحالة لينا نسبيا وله قابلية جيدة للتشغيل بالمكائن (Machinable) ولون السطح المكسور رماديا لذا يسمى حديد الزهر الرمادي .

العوامل التي تؤثر على شكل وجود الكربون في حديد الزهر

إن العوامل التي تؤثر على شكل وجود الكربون في الحديد الزهر هي التالي:

- معدل التبريد (The rate of Cooling).
- التركيب الكيميائي (Chemical Composition).
- المعاملات الحرارية اللاحقة (Subsequent Heat Treatment).

الاستعمالات النموذجية لحديد الزهر

- اسطوانات ومكابس وسائط النقل (Pistons &Cylinders).
- مصبوبات المكائن (Castings).
- أنابيب الماء الرئيسية (Pipes).
- الدرافيل المصلدة (Chilled Rolls).
- القوالب والصفائح المقاومة للبلى (Wear).
- الكرات (Balls).

النحاس

اسم العنصر	الرمز	العدد الذري	أرقام الأكسدة	درجة الانصهار
النحاس	Cu	٢٩	+١, +٢, +٣, +٤	١٠٨٤,٦٢ °س

سبائك النحاس

من اهم سبائك النحاس واستخداماتها:

١. سبائك النحاس-الخارصين وتسمى النحاس الاصفر(Brass).

يستخدم النحاس الاصفر في الزخارف بسبب مظهره الذهبي اللامع، وفي التطبيقات التي تتضمن بعض الاحتكاك الطفيف مثل الأقفال، والمسننات، والمدحرجات، ومقابض الأبواب، الذخائر الحربية، والصمامات. كما يستخدم في السمكرة والاستخدامات الكهربائية، ويستخدم بكثرة في الأدوات الموسيقية مثل البوق، والأجراس بسبب خواصها

الصوتية. ولأن النحاس الأصفر أطرى من المعادن الأخرى عموما، فإنه يستخدم غالبا في الأماكن التي يتجنب فيها حدوث شرارة نتيجة الاحتكاك، كما في الأجهزة والمعدات المحيطة بالغازات المتفجرة

٢. سبائك النحاس -القصدير وتسمى البرونز القصديري (Tin-bronzes).
وتستخدم في صناعة العملات المعدنية (العملات البريطانية النحاسية) وصناعة المسبوكات ذات مقاومة شد وتآكل عاليتين مثل الاجزاء الرابطة لأنابيب البخار وانابيب المياه ذات الضغط العالي وصناعة المحامل.

٣. سبائك النحاس -القصدير –الفسفور وتسمى البرونز الفسفوري(Phosphor-bronzes).
وتستخدم في صناعة نوابض الاجهزة وشفرات التوربينات البخارية والمحامل.

٤. سبائك النحاس -الالمنيوم وتسمى برونز الالمنيوم(Aluminum-bronzes).
إن سبائك البرونز الالمنيوم تستخدم في اغراض عديدة منها الصناعات الكيميائية والبحرية وذلك عندما تتطلب الحاجة الى استعمال سبائك ذات مقاومة شد وتآكل عاليتين مثل صناعة الرفاصات البحرية واعمدتها والمسبوكات التي تستخدم في المضخات واوعية التنظيف الكيمياوي.

٥. سبائك النحاس -النيكل وتسمى كوبرونيكل (Copper-Nickel).
تستخدم في صناعة انابيب المكثفات والعملات الفضية البريطانية.

الالمنيوم

اسم العنصر	الرمز	العدد الذري	أرقام الأكسدة	درجة الانصهار
الالمنيوم	Al	١٣	+١, +٢, +٣	٦٦٠,٣٢ °س

سبائك الالمنيوم

من اهم سبائك الالمنيوم واستخداماتها:

١. سبائك الألومنيوم –النحاس.

وتستخدم في صناعة الطائرات الاجزاء (الخارجية والداخلية)، خزانات الشاحنات، وأيضا مقطورات الشاحنات، خزانات الوقود والصواريخ المعززة للمكوك الفضائي، الأجزاء الداخلية لعربات القطار.

٢. سبائك الألومنيوم – المنغنيز.
تستخدم في صناعة الأجزاء المسحوبة وأجزاء العلب المعدنية (المشروبات الغازية) والتطبيقات النموذجية لهذه السبائك تتضمن: المبرد (المشعة)الموجودة في السيارة , وأيضا في شبكة أنابيب المبادلات الحرارية في محطات الطاقة .

٣. سبائك الألومنيوم –السليكون.
تستخدم في صناعة المكابس المستخدمة في صناعة الطائرات وسبيكة الحشو باللحام

٤. سبائك الألومنيوم -المغنيسيوم
تستخدم في صناعة مستودعات التخزين وأيضا اوعية الضغط وصهاريج التبريد، وانظمة التبريد لدرجات الحرارة المنخفضة التي تصل احيانا إلى (٢٧٠ C°-).

النيكل

اسم العنصر	الرمز	العدد الذري	أرقام الأكسدة	درجة الانصهار
النيكل	Ni	٢٨	+١, +٢, +٣,٤,-١	١٤٥٥ °س

سبائك النيكل

يستخدم النيكل بشكل رئيسي في صناعة السبائك حيث يمكن خلطه مع كثير من الفلزات مثل النحاس , والمنجنيز , والحديد , والكروم , ويستخدم خاصة في السبائك غير الحديدية والصلب لتحسين جودتها من حيث المتانة , ومقاومة التآكل , والصلادة وخصائصه الجيدة عند درجات الحرارة العالية .يستخدم ٦٠ % من النيكل في صناعة الصلب المقاوم للصدأ والمتبقي لصناعة سبائك النيكل , وقد توسع استخدام النيكل في الصناعة بفضل الخصائص الجيدة خاصة التي يكسبها للسبائك مثل :الخواص الميكانيكية الجيدة والمقاومة للتآكل في الأوساط الحامضية والقاعدية وفي الجو ومحاليل الأملاح .احتفاظه بالمرونة والمقاومة والاستطالة عند درجات الحرارة العالية والمنخفضة .خواصه المغناطيسية .لونه الفضي الجذاب .وتستخدم سبائك النيكل ذات النقاوة التجارية في كثير من الاستخدامات الصناعية مثل :اجهزة تصنيع الأغذية .براميل نقل المواد الكيميائية .الأجهزة الإلكترونية .أجزاء مكونات الصواريخ والمركبات الفضائية .المصابيح القلوية .المبادلات والعوازل الحرارية .وفضلاً الى ذلك , يضاف الى النيكل فلزات اخرى لصناعة سبائك ذات صفات جيدة .من اشهر هذه السبائك , الفضة الألمانية (تتكون من نيكل , زنك , نحاس , مغطاة بطبقة من الفضة بالطلاء الكهربي) , وتستخدم بديل الفضة للزينة والديكور.

القصدير

اسم العنصر	الرمز	العدد الذري	أرقام الأكسدة	درجة الانصهار

القصدير	Sn	٥٠	+٢,+٤,-٤	٢٣١,٩٣ °س

سبائك القصدير

تستخدم سبائك القصدير في صناعة سبيكة اللحام والتي تصنع من عدة عناصر أهمها الرصاص والقصدير وكذلك في مشابك الورق ودبابيس الأمان والدبابيس المستقيمة، ودبابيس الدباسة جميعها مصنوعة من النحاس المطلي بالقصدير، كما تحتوي الأواني وأوعية الطعام على طبقات خارجية من القصدير.

الخارصين

اسم العنصر	الرمز	العدد الذري	أرقام الأكسدة	درجة الانصهار
الخارصين	Zn	٣٠	+٢,+١,٠	٤١٩,٥٣ °س

سبائك الخارصين

تستخدم في عملية جلفنة الحديد وصناعة البطاريات المختلفة بالإضافة لصناعة العلبة الخارجية للبطاريات الجافة، وصناعة سبائك تستخدم في عمليات اللحام والطلاء.

المنغنيز

اسم	الرمز	العدد الذري	أرقام الأكسدة	درجة الانصهار
المنغنيز	Mn	٢٥	٧, ٦, ٥, ٤, ٣, ٢, ١, -١, -٢, -٣	١٢٤٦ °س

سبائك المنغنيز

المنغنيز يعتبر عنصر جوهري في إنتاج الصلب وذلك بفضل قدرته على تثبيت الكبريت وإزالة الأكسدة والخصائص السبائكية له، وثاني التطبيقات الكبرى للمنغنيز هي دخوله كعنصر في سبائك الالومنيوم.

الرصاص

اسم العنصر	الرمز	العدد الذري	أرقام الأكسدة	درجة الانصهار
الرصاص	Pb	٨٢	٤, ٢	٣٢٧,٤٦ °س

استخدامات الرصاص

نظرا لكون الرصاص من العناصر الثقيلة غير المشعة فيستخدم لكبح الإشعاعات النووية وامتصاصها. وتستخدم صفائح الرصاص السميكة كعازل للإشعاعات. وتدخل ألواحه في صناعة بطاريات السيارات. تدخل عناصر الرصاص في صناعة الكثير من الأصباغ والألوان والدهانات.

الخرسانة

الخَرَسَانَة هي مادة تتكون من الاسمنت والرمل والماء مع إضافة نوع من الركام، مثل الحصى، تعد الخرسانة من أهم مواد البناء في العصر الحديث خصوصاً مع تدعيمها بالحديد لتصبح خرسانة مسلحة.

يعتبر الرومان أول من استعمل الخرسانة العادية في التاريخ، منذ حوالي ألفي عام. وقد استعملت في معظم مبانيهم لسهولة تشكيلها وإمكان تنفيذها بعمالة مدربة تدريباً بسيطاً.

الخرسانة هي مخلوط من مواد أولية مكونة من الرمل والركام والأسمنت مع إضافة الماء إليهما. وعند خلطها جيداً تتم عملية تماسك بينها تسمى زمن الشك.

وللخرسانة خصائص كثيرة تمتاز بها عن المواد الأخرى، فهي تأخذ شكلاً صلداً ومتيناً مع الزمن تدريجياً، وتبدأ بالشك الابتدائي وتنتهي بالشك النهائي. كذلك فهي شديدة المقاومة الإجهاد الناتج عن ضغطها ولكنها في نفس الوقت ضعيفة جداً في مقاومتها للشد لذلك فالخرسانة العادية (غير المسلحة) لا تستخدم ابداً في الأماكن التي تحدث فيها إجهادات الشد (مثل الكمرات).

للتغلب على هذه المشكلة، يوضع الحديد وهو مقاوم ممتاز لقوى الشد وقوى الضغط لذلك نجد أن مركباً خليطاً من الخرسانة والحديد يعطى مادة مثالية لمقاومة الإجهادات المختلفة المؤثرة عليها. وهذا المركب هو ما يعرف باسم الخرسانة المسلحة.

أنواع الخرسانة

تعددت أنواع الخرسانة كثيراً في وقتنا الحاضر نتيجة مكوناتها نذكر منها على سبيل المثال:

١. خرسانة عادية.
٢. خرسانة مسلحة.
٣. الخرسانة المسلحة المصبوبة تحت الماء.
٤. الخرسانة المسلحة المقاومة للحريق.
٥. الخرسانة المسلحة المقاومة للإشعاعات الذرية.
٦. الخرسانة المسلحة للسدود.
٧. الخرسانة المسلحة ضد القنابل.
٨. الخرسانة المسلحة المقاومة للزلازل.
٩. الخرسانة المسلحة الملونة.
١٠. الخرسانة مسبقة الإجهاد (تصب ويتم شدها بأسلاك قوية جداً ويتم قطع هذه الأسلاك بعد تصلب الخرسانة لتصبح الخرسانة قادرة على حمل أحمال كبيرة جداً مثل الجسور الطويلة جداً).

المصادر

١. مبادئ هندسية المعادن والمـــواد.
ق. بيلي، ترجمة – د. حسين باقر رحمة الله.
٢. الحقيبة التدريبية –اختبار المواد (في تخصص التقنية الميكانيكية انتاج) ٢٥٢ ميك , المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني.
٣. خواص المواد.
معن يحيى الحمداني هاشم كاظم الجواهري
٤. الانترنيت.