وزارة التخطيط

الجهاز المركزي للتقييس والسيطرة النوعية

دائرة السيطرة النوعية

قسم الصناعات الهندسية

إيجاد مُقاومة الشد نظرياً وبصورة تقريبية بالأستعانة بصلادة برنيل دون الحاجة الى إتلاف النموذج

أعداد

طاهر صالح حبيب

ر . مُهندسين

كاظم حامد عبد علي

مهندس اقدم

محمد أياد عبد جاسم

مدير فني

2020

المحتويات

ت	عنوان الفقرة	رقم الفقرة	الصفحة
١	أطار الدراسة	-	I
٢	الهدف من الدراسة	-	II
٣	الخلاصة	-	III
٤	مُقدمة عامة	-	IV
الفصل الاول المواد الهندسية وخواصها			
٥	مُقدمة	١	١
٦	المواد الهندسية	١-٢	٢
٧	تصنيف المواد الهندسية	١-٣	٢
٨	المعادن الحديدية	١-٣-١	٣
٩	المعادن اللاحديدية	١-٣-٢	٤
١٠	خواص المواد	١-٤	٥
١١	الخواص الفيزياوية للمواد	١-٤-١	٦
١٢	الكثافة	١-٤-٢	٦
١٣	نقطة الانصهار	١-٤-٣	٦
١٤	الحرارة النوعية	١-٤-٤	٦
١٥	الموصلية	١-٤-٥	٧
١٦	التمدد الحراري	١-٤-٦	٧
١٧	الخواص الكهربائية والمغناطيسية	١-٤-٧	٧
١٨	الخواص المغناطيسية	١-٤-٨	٨
١٩	مُقاومة التأكل	١-٤-٩	٨
٢٠	الخواص الميكانيكية	١-٤-١٠	٩
٢١	الصلادة	١-٤-١٠-١	٩
٢٢	مقاومة الشد والانضغاط	١-٤-١٠-٢	٩
٢٣	المطيلية	١-٤-١٠-٣	٩
٢٤	القصافة	١-٤-١٠-٤	١٠
٢٥	المتانة	١-٤-١٠-٥	١٠
٢٦	مقاومة الصدمة	١-٤-١٠-٦	١٠
٢٧	مقاومة البلى	١-٤-١٠-٧	١٠
٢٨	مقاومة الكلال	١-٤-١٠-٨	١٠

٢٩	التزحف	١-٤-١٠-٩	١١
٣٠	الانحناء	١-٤-١٠-١٠	١١
٣١	التركيب الكيميائي والبُنية المجهرية	١-٤-١٠-١١	١٢
	الفصل الثاني الاختبارات		
٣٢	أختبار الشد	٢	١٣
٣٣	الهدف من أجراء أختبار الشد	٢-١	١٣
٣٤	المواصفات القياسية المُستخدمة في أختبار الشد	٢-٢	١٣
٣٥	مُصطلحات هامة	٢-٣	١٤
٣٦	أنواع الكسور	٢-٤	١٦
٣٧	أشكال الكسور حسب طبيعة المعدن	٢-٤-١	١٦
٣٨	شرح مكونات وطريقة عمل الجهاز	٢- ٥	١٧
٣٩	أختبار الصلادة	٢-٦	١٩
٤٠	أهمية أختبار الصلادة	٢-٦-١	١٩
٤١	أختبار برينل للصلادة	٢-٦-٢	١٩
٤٢	أختبار فيكرز للصلادة	٢-٦-٣	٢١
٤٣	أختبار روكويل للصلادة	٢-٦-٤	٢٢
	الفصل الثالث الجانب العملي		
٤٤	الجانب العملي	٣	٢٤
٤٥	تحضير العينات	٣-١	٢٤
	الفصل الرابع النتائج والمناقشة		
٤٦	النتائج والمناقشة	٤	٢٩
	الاستنتاجات والتوصيات		
٤٧	الاستنتاجات	٥	٣٠
٤٨	التوصيات	٦	٣١
	المصادر		
٤٩	المصادر		٣٢

إطار الدراسة :

نود أن نبين بإن هذه الدراسة " إيجاد قيم مُقاومة الشد نظرياً وبصورة تقريبية بالأستعانة بصلادة برينل دون الحاجة الى إتلاف النموذج " قد قُدمت ضمن الخطة السنوية لقسم الصناعات الهندسية لسنة ٢٠٢٠ .

الحدود الزمانية :

تم أعداد الدراسة من ١ / ٦ / ٢٠٢٠ الى ١ /٤/ ٢٠٢١ .

الحدود المكانية :

أُعدت هذه الدراسة النظرية في دائرة السيطرة النوعية – قسم الصناعات الهندسية – شُعبة الميكانيك .

الهدف من الدراسة :

تتعطل مُعظم الالات والقطع ومكوناتها نتيجة تصدعها أو تشوهها الزائد ، ومنعاً لحدوث هذا التعطيل يقوم المصممون والمختصين عادةً بدراسات تحليلية على نموذج رياضي أو دراسات تجريبية على نماذج حقيقية لمعرفة مدى تحمل الالة للاجهادات وظروف التشغيل ، كما يقومون بأختبار المواد التي يجب تصنيع كل جزء من الالة منها لضمان حسن ادائها . واختبار المواد هو قياس خصائص المواد وسلوكها في الظروف المُختلفة وتفيد النتائج المُستحصلة في هذا القياس في تحديد المواد وصفاتها المميزة وفي مُختلف الاستعمالات . ويمكن أن تُجرى الاختبارات على نموذج مُصغر للالة أو المادة أو يستعاض عن ذلك ببناء نموذج هندسي بالاعتماد على خصائص المادة وسلوكها المعروفين مُسبقاً .

وعليه فان اختيار المواد الهندسية هو قياس مدى صلاحية استخدام المواد لاستعمالها فى الأغراض المتنوعة المعينة .ومن هُنا نجد أنه من أهم أغراض اختيار المواد هو المساعدة على إظهار مدى مقاومة و احتمال المواد تحت ظروف العمل المختلفة لأى عمل هندسى مطلوبة لأجله. لذالك يجب أن نأخذ فى الاعتبار أن المواد المختارة التى تستخدم بشكل مناسب وجيد ونستفيد من مميزات خواصها بدون أي إهمال أو سوء استخدام لها وكذلك مراحل التصميم المناسب معًا يؤكدان سلامة العمل المطلوب تنفيذ ه .وهناك مصدران أساسيان يحصل منهما المهندس على البيانات اللازمة للإختيار الأمثل للمواد وهما:

- التقارير التى تبين مدى كفاءة استخدام المواد عند التنفيذ.
- نتائج الاختبارات التى اجريت على المواد الهندسية لمعرفة وتحديد خواصها حتى يتمكن المصمم من إعداد مواصفاتها

الخلاصة :

أن هذه الدراسة " إيجاد مُقاومة الشد بطريقة تقريبية دون الحاجة الى أتلاف النماذج كانت مُحاولة لأيصال فكرة للمهتمين والمختصين في مجال فحص المعادن والسبائك بأنه بالامكان التنبأ أو أعطاء تقييم مجموعة من الخصائص من خلال معرفة أحداها بصورة تقريبية . أذ تُعتبر هذه الملكة من المسائل المُهمة بالنسبة للعاملين في هذا المجال في الحالات التي يتطلب فيها أتخاذ رأي مبدئي تقريبي وسريع أثناء مُجريات العمل كما تنم عن أن المُختص يمتلك معرفة لابأس بها من أجل أعطاء الرأي . ولأجل أيصال هذه الفكرة تم التطرق الى المواد الهندسية وتقسيماتها وكذلك الخواص التي تمتلكها هذه المواد وبالتالي تُمكنها من أداء الغرض الذي تم أختيارها لتستعمل من اجله . ومن ثم التطرق للفحوصات التي أُستُخدمت في هذه الدراسة وهي فحص الشد والصلادة بطريقة برينل والتحليل الكيميائي لتحديد نسبة الكاربون . حيث تم أختيار نماذج بعدد (١٠) من قضبان الفولاذ الكاربوني لتسليح الخرسانة (حديد التسليح) وهي عبارة عن نماذج موردة للفحص في مُختبر الميكانيك . أذ تم أيجاد مُقاومة الشد لها من خلال اجراء فحص الشد فعلياً كما تم أيجاد قيم مُقاومة الشد بصورة تقريبية بواسطة اجراء فحص صلادة برينل ومن خلال علاقة تم أثباتها من قبل العالم برينل . كما تم تحديد نسبة الكاربون للنماذج لمعرفة تأثيرها على الخواص . وقد أثبتت التجارب الحصول على قيم مقبولة عند المُقارنة بين قيم الشد الفعلية ومُقاومة الشد التقريبية حيث كانت أقل نسبة فرق بين القيمة الفعلية والتقريبية (٠،١٥%) وأكبر نسبة فرق كانت (١١%) . ولم يكُن هُناك تأثير واضح لنسبة الكاربون .

مُقدمة عامة :

دراسة المواد الهندسية لها دور فعال وأهمية خاصة فى أى تقدم تكنولوجي في جميع المجالات، ولذلك فإن المواد الهندسية هى التي تكون الكيان الرئيسي للأعمال الهندسية المختلفة .على ذلك يجب المعرفة الدقيقة لانواع المواد المختلفة وبحث ودراسة خواصها وإمكانية اختيار أفضل هذه المواد وأنسبها لتتماشى مع ظروف أستخدامها فى جميع الأعمال الهندسية المطلوبة. ومن هنا نرى أن المهندسين والباحثين مع اختلاف تخصصاتهم لابد لهم من التعامل مع المواد الهندسية بقدرة وكفاءة عالية في جميع خطوات أى عمل هندسي مطلوب تنفيذه للوصول به لأعلى المستويات التقنية والفنية. فمثلا في مجالات التنفيذ والتصنيع فإن المهندسين يقوموا باستخدام المواد المختلفة في عمل المنشأت المختلفة أو تصنيع الماكينات المختلفة تحت ظروف خاصة وبطرق ملائمة، وأيضا بالنسبة لأعمال التشغيل والصيانة والمبيعات فإن المهندس يكون على علاقة مباشرة بأستخدام المواد الهندسية في كل الأعمال المطلوبة وكذلك في أعمال التفتيش والأختبار فإن المهندس يقوم بأختبار المواد وتعيين خواصها ومدى صلاحيتها قبل أستخدامها في أي من الأعمال الهندسية. لذلك نرى مما تقدم أن للمهندس صلة رئيسية مباشرة مع المواد بحيث أن المهندس يقوم بتحويل المواد الخام إلى منشآت مثل المباني والمصانع والسيارات والصواريخ وغير ذلك فى جميع المجالات، لذلك فإنه يجب على المهندس أن يكون على دراية ومعرفة تامة بالمواد وخواصها المختلفة ومدى مقاومتها للأنواع والأحمال المختلفة وكذلك مدى مقاومتها للعوامل المعرضة لها مع الزمن .لذلك يتطلب دراسة القواعد والقوانين والنظريات التي تتحكم في أختلاف أعمال المواد الهندسية وخواصها تحت تأثير العوامل المختلفة و دراسة تلك المواد الهندسية تطبيقيا وعملياً، وكذلك تتطلب متابعة البحوث العملية التى تجرى على علم خواص ومقاومة المواد واختباراتها لكي تصل بنا إلى حل أي مشاكل تقابلنا فى استخدام المواد الهندسية ومواكبة أي تطور بهذا العلم يمكن استخدامه في أي غرض إنشائي يتماشى مع التطور والتقدم الهائل في جميع المجالات. لذلك فأن الخواص الميكانيكية مثل الشد والمتانة والصلادة يمكن أن تحدد ملائمة بعض المواد الهندسية للأختيار، فمن المعروف أن الخواص الميكانيكية للسبائك الحديد –الكاربون تتغير مع تغير نسبة الكاربون مما يمنح المهندس مدى واسع من سبائك الحديد – كاربون لأختيار المناسب منها وبعد أختيار السبيكة الملائمة على اساس محتوى الكاربون هناك سؤال هل ان ذلك سوف يكون دالة مقبولة في التطبيق فعلى سبيل المثال ان احدى متطلبات التصميم للعجلات المسننة (التروس) الصغيرة هو ان تكون صلدة وذلك لضمان أدنى كمية ممكنة من البلى (التأكل) وبالتالي حفظ الدقة . ففي بداية النهضة الصناعية كان يتم انتاج مثل هذه المسننات من الفولاذ الكاربوني المصلد ولكن الان وفي تطور اعمال التصنيع يتم انتاج هذه المسننات الان من مواد اخرى مثل التفلون (بولي تترا فلورو أثيلين)(PTFE) او النايلون ٦ (NYLON6) التي اصبح من الممكن أستخدامها بهذا الخصوص على الرغم من ان قيم الصلادة للمواد البوليميرية اقل من سبائك الحديد الكاربون ولكن في التطبيق فأن مسننات البوليمر تؤدي وظيفتها بشكل مقبول ولاتتطلب استخدام عملية التزييت ومما تقدم يجب ان يكون مهندس التصميم يقظا من حيث أن الخواص النوعية التي تتميز بها المادة لاتعكس الأسلوب الذي تسلكه المادة خلال التطبيق كما أن الخواص الميكانيكية للمادة يمكن أن تحدد أيضا طريقة الانتاج ففي بعض المواد يمكن أن تجعل خواص المقاومة والمتانة طرق التصنيع عملية صعبة وبالتالي تكون مرتفعة الكلفة كذلك أن عامل الكلفة الأضافي يمكن أن يكون نتيجة زيادة الفترة الزمنية لعملية التصنيع أو أستخدام عدة خاصة أو كلاهما.

جدول تعريف الرموز المستخدمة في الدراسة:

تسلسل	الرمز	تعريف الرمز
١	Kg	كيلو غرام
٢	M	متر
٣	G	غرام
٤	Cm	سنتيمتر
٥	C◦	درجة الحرارة السيليزية
٦	J	جول
٧	K◦	درجة الحرارة المطلقة (كلفن)
٨	F◦	درجة الحرارة فهرنهايت
٩	ohm	الاوم
٩	mho	معكوس الاوم
١٠	Ft	قدم
١١	V	فولت
١٢	Tm◦	درجة الحرارة المطلقة لأنصهار المعادن
١٣	do	القطر القياسي لعينة الاختبار
١٤	L_o	الطول الابتدائي
١٥	A_o	مساحة المقطع العرضي لعينة الاختبار
١٦	B.H.V	رقم برينل للصلادة
١٧	h	عمق الاثر
١٨	D	قطر كرة برينل
١٩	d	قطر الاثر
٢٠	F	حمل الاختبار(kg)
٢١	σTS	مقاومة الشد (اجهاد الشد)

الفصل الاول

الفصل الاول

١ـ المقــدمة:

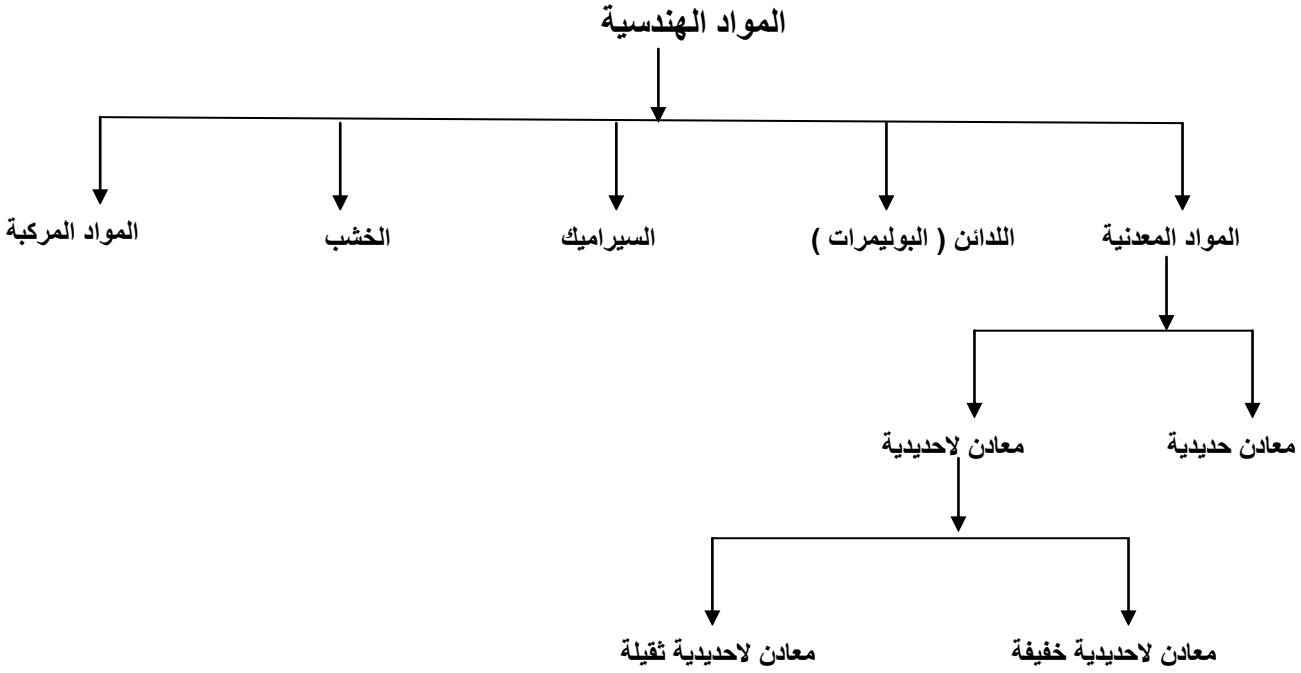
تشيرالدراسات والأبحاث أن أول من بدأ بالبحث عن نوعية المواد وجودتها هو الأنسان القديم من خلال بحثه عن طعامه أذ تعلم كيف يميز بين الجيد والفاسد وكذلك تعلم كيف يختار الأشجار التي تعطيه نوعية أخشاب جيدة لتصنيع أدوات جيدة . خلال هذه الفترة الزمنية الطويلة ألى وقتنا الحاضر أصبح هناك كم هائل من المعلومات عن المواد وخواصها وطرق تصنيعها وعن كلفها إذ تحول الموضوع من عملية محاولة وفشل للوصول للمادة المطلوبة إلى عملية أختيار منظمة تتطلب دراسة ومعرفة الكثير من المتطلبات وبسبب العدد الكبير من المواد الهندسية فقد أصبحت مهمة أختيار المواد الهندسية للتطبيق المعين تعتبر مهمة شاقة لأنها تتطلب تحقيق متطلبات التصنيع أي كيف تصنع المادة الهندسية لأنتاج منتج معين ومتطلبات الخدمة أو التطبيق أي هل يحقق المنتج الغرض من أنتاجه والمتطلبات الاقتصادية أي هل ان الكلفة الاجمالية من أختيار المادة وصولا إلى المنتج النهائي مناسبة ولتحقيق هذا يتطلب المعرفة الشاملة بالعلاقة مابين التركيب والبنية الداخلية للمادة والخاصية أي الخواص التي تمتلكها تلك المادة وطريقة التصنيع أو المعالجة أي الطريقة التي تصنع بها المادة وكذلك التركيب الكيمياوي للمادة الهندسية ومن هنا تبين أن أختيار المادة الهندسية لايمكن أن يتم بمعزل عن اختيار العملية او الطريقة التي بواسطتها يمكن (سباكة ، تشكيل ،لحام) من استخدام المادة الهندسية أضف الى ذلك أن عامل الكلفة يعتبر من العوامل الاساسية في كل من عملية اختيار المادة والاسلوب الذي تصنع فيه تلك المنتجات[١] .

١ـ ٢ المواد الهندسية:

ان من أهم المتطلبات الاساسية للحصول على المنتج المقبول وبكلفة تنافسية هو اختيار المادة المثلى من مجموعة المواد الهندسية المتوفرة .أن هذه المهمة ليست بالسهلة فهناك نسبة كبيرة من المنتجات الرديئة التي سببها الاختيار الخاطئ للمواد . ومما يزيد من تعقيد مهمة الاختيار هو أن العملية المستخدمة في تصنيع المنتج تؤثر على الخواص المواد وسلوكها في التطبيق وعليه أن مهمة أختيار المواد يجب أن لاتتم بمعزل عن تصميم المنتج أضف الى ذلك أن فعالية اختيار المواد وعملية التصنيع يجب أن لاتقتصر على المظاهر التقنية فحسب وأنما على المظاهر الاقتصادية ايضاً لأن المتطلب الاساسي للمنتج الناجح هو الجدوى الاقتصادية ومن هنا يتبين أن دور مهندس المواد المسؤول عن اختيار المادة الهندسية المثلى في فريق التصميم ويبرز من خلال هندسة المواد التي تمثل حلقة الوصل مابين فروع الهندسة الاخرى لان فريق التصميم يتكون عادة من مجموعة من الاعضاء من فروع الهندسة الاخرى مثل الهندسة الميكانيكية والهندسة المدنية وهندسة البيئة والهندسة الكيمياوية والهندسة الكهربائية وهندسة الطائرات والهندسة النووية والهندسة المعمارية وهندسة النسيج فاذا عرفنا التصميم الهندسي بانه عملية الحصول على جزء او نظام جديد فان دور مهندس المواد يكمن في السؤال التالي من اي مادة سيتم تصنيع ذلك الجزء او النظام [٢] .

١ـ ٣ تصنيف المواد الهندسية :

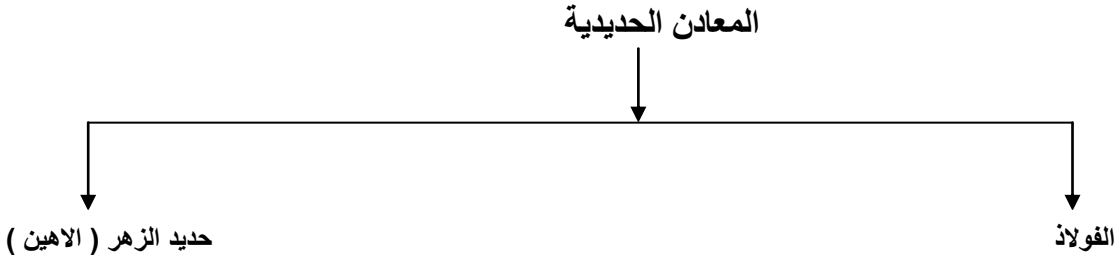
يمكن ان تعرف المادة الهندسية على انها اي مادة تمتلك خاصية معينة يمكن ان يستفاد منها في تصنيع منتج ما وكما ذكرنا مسبقا ان عمليات البحث عن المواد ونوعياتها يرجع الى أزمان قديمة جدا الى يومنا هذا فاصبح هناك كم هائل جدا من المواد الهندسية وبخواص مختلفة لتغطي احتياجات التطبيقات المختلفة في حياتنا اليومية والتي لن تقف عند هذا الحد وانما في تطور مستمربسبب التطور المتزايد في كل مجالات العلوم مما يستوجب تطوير المواد الهندسية بصورة مستمرة او البحث عن مواد هندسية جديدة وبصورة عامة تصنف المواد الهندسية الى كما مبين في شكل رقم (١) [٢] .



شكل رقم (١) تصنيف المواد الهندسية

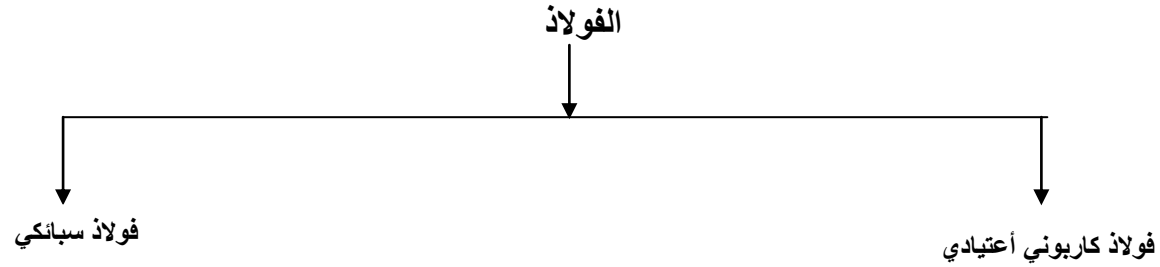
١ـ ٣ ـ ١ المعادن الحديدية :

وهي المعادن التي تحتوي على حديد (Fe) كعنصر اساسي في تكوينها والتي تصنف بدورها الى نوعين اساسيين وهما الفولاذ وحديد الزهر كما مبين في شكل رقم (٢) [٢]



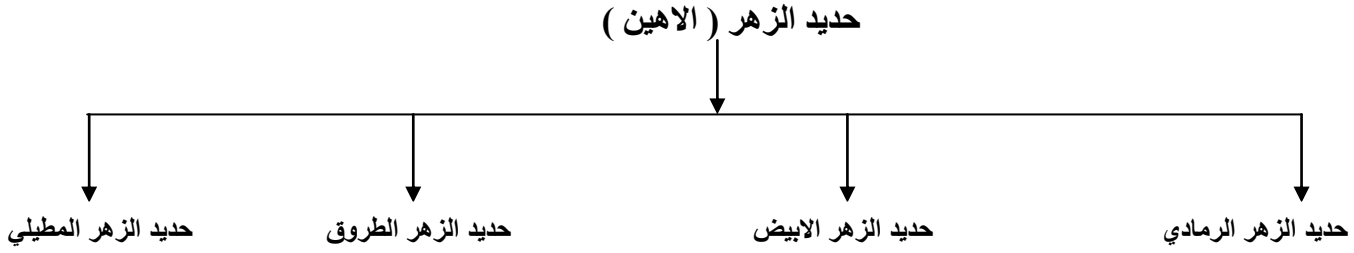
شكل رقم (٢) تصنيف المواد الحديدية

الفولاذ : هو عبارة عن سبيكة حديد ـ كاربون يحتوي على نسبة كاربون أقل من 2% ويقُسم بدوره الى الفولاذ الكاربوني الاعتيادي والفولاذ السبائكي كما في شكل رقم (٣) [٢].



شكل رقم (٣) تصنيف الفولاذ

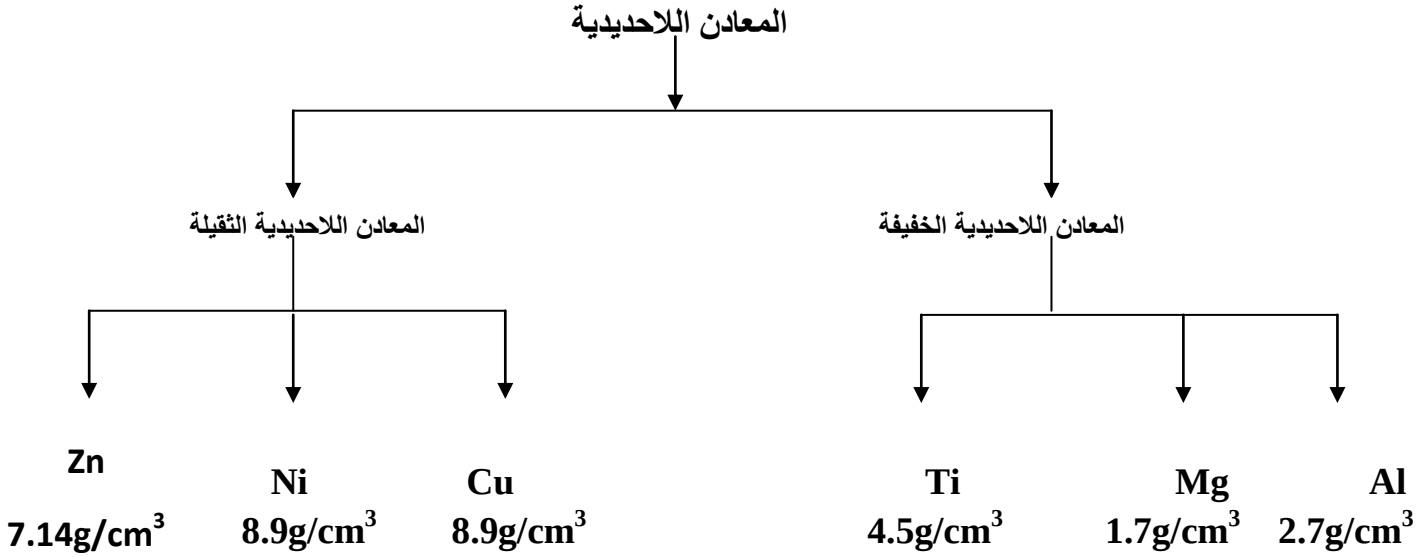
حديد الزهر (الاهين) : أما حديد الزهر والذي يسمى بالاهين فيحتوي على نسبة كاربون مابين 2% الى 4% كاربون وكمية ملحوظة من السليكون بالاضافة الى كميات صغيرة من العناصر الاخرى والذي ينقسم بدوره الى عدة أنواع أعتماداً على شكل الكاربون " الكرافيت " في السبيكة كما في شكل رقم (٤) [٢].



شكل رقم (٤) تصنيف حديد الزهر (الاهين)

١ـ ٣ ــ ٢ المعادن اللاحديدية :

وهي المعادن التي يكون فيها الحديد عنصر ثانوي بالنسبة الى العناصر الرئيسية الاخرى كالألمنيوم والنحاس والمغنيسيوم والتيتانيوم والنيكل والخارصين .....ألخ . والتي تنقسم بدورها الى معادن اللاحديدية الخفيفة والمعادن اللاحديدية الثقيلة أعتماداً على الكثافة كما في شكل رقم (٥) [٢].



شكل رقم (٥) تصنيف المعادن اللاحديدية

١ – ٤ خواص المواد :

ان نجاح مهندس التصميم يعتمد الى حد ما على معرفته بالمواد وكيفية انسيابها وتشكيلها خلال عملية التصنيع ان مثل هذه المعرفة بخواص المواد سوف تضمن الاختيار المناسب بعملية التشكيل فعلى سبيل المثال ان بعض المواد مثل الرصاص لايمكن سحبه بشكل سلك بواسطة عملية السحب ولايمكنه الاستجابة الى عدة عمليات لذا يتم اللجوء الى عملية القطع للحصول على الشكل المطلوب كما ان الرصاص يبدي عادةً مقاومة منخفضة للقوة المسلطة حيث انه لايخضع الى القص بالشكل المقبول للحصول على انهاء سطحي جيد بسبب مطيليته العالية لكن من المعروف ان الرصاص يمتلك خاصية قابلية الطرق التي تمكنه من الاستخدام في عمليات البثق بنجاح وبالتالي يمكن انتاج سلك الرصاص من خلال عملية البثق وعلى الرغم من سهولة وبساطة هذا المثال المتعلق بتفاعل المادة مع حالات اخرى كالشد (مثل سحب الاسلاك) والقص (مثل اداة عدة القطع) والضغط كما في البثق من هنا يتبين اهمية معرفة خواص المواد كما ان الخواص الفيزيائية والميكانيكية للمادة المختارة لتصنيع جزء معين يجب ان تحقق شروط التصنيع اي عملية التصنيع المناسبة وكذلك شروط التطبيق لان سهولة التشكيل ،التشغيل او الحصول على سائل او مائع للسباكة سوف يؤثر على الكلفة النهائية للمنتج ومن العوامل المهمة جدا معولية المواد بينما تكون في التطبيق والمعولية هي مقدار تحمل المادة لظروف العمل اثناء الخدمة وعليه ان الفشل السابق لاوانه نتيجة التزحف ، الكلال ، فقدان الصلادة يكون عادة مكلف عند استخدام المواد الرديئة لذا يجب ان يكون هناك توافق مابين متطلبات التصنيع ،متطلبات التطبيق والمتطلبات الاقتصادية لاختيار المادة المثلى وفي خصوص هذا المجال هناك مجموعة من الاسئلة والتي تتضمن هل ان الخواص المطلوبة عند درجات حرارية منخفضة ام عند درجة حرارة الغرفة ام عند درجات حرارة عالية .

ماهي الخواص الكيمياوية المطلوبة؟ وهذا يعني دراسة الوسط او المحيط الذي سوف تتعرض له المادة وامكانية حدوث التاكل

ماهي الخواص الحرارية المطلوبة؟ حيث يتطلب دراسة الخواص مثل السعة الحرارية النوعية ومعامل التمدد الحراري والموصلية الحرارية

ماهي الخواص الكهربائية المطلوبة؟هل ان المادة الطلوبة يجب ان تتميز بموصلية كهربائية ام عازلة

ماهي الخواص المغناطيسية المطلوبة؟ اي هل ان المادة المطلوبة يجب ان تتميز بخواص مغناطيسية موقتة ام خواص مغناطيسية دائمة ام خواص لامغناطيسية

ماهي الشروط البعدية المطلوبة؟ اي هل ان المادة يجب ان تتميز بقابلية عالية من الانهاء السطحي الجيد ،ولها استقرارية بعدية ،يجب ان تكون مسطحة ولها حجم معين [٣].

١ـ ٤ ــ ١ الخواص الفيزياوية للمواد

ينبغي ان تؤخذ الخواص الفيزياوية للمواد بعين الاعتبار في اختيار وتصنيع المواد ان اهم هذه الخواص هي:

١ـ الكثافة
٢ـ نقطة الانصهار
٣ـ الحرارة النوعية
٤ـ الموصلية الحرارية
٥ـ التمدد الحراري
٦ـ الخواص الكهربائية والمغناطيسية
٧ـ مقاومة التاكل [٣] .

١ ــ ٤ ــ ٢ الكثافة :

ان كثافة المادة هي وزنها نسبيا لوحدة الحجم واذا عبر عنها نسبة الى كثافة الماء فانها تعرف بالوزن النوعي وبالتالي لاتمتلك وحدات. تعتمد كثافة المواد الوزن الذري واكتظاظ الذرات حيث تتناقص الكثافة مع ازدياد درجة الحرارة لان الكتلة تبقى ثابتة بينما يزداد الحجم بفعل التمدد ويكون الدور الاكثر اهمية الذي تلعبه الكثافة هو في المقاومة النوعية (نسبة المقاومة الى الوزن) والتي تستخدم في التطبيقات التي تتطلب مقاومة عالية وخفة الوزن. وكذلك الصلابة النوعية (نسبة الصلابة الى الوزن) للمواد والهياكل تقاس الكثافة بالوحدات g/cm^3 او kg/m^3 [٣].

١ ــ ٤ ـ٣ نقطة الانصهار :

تعتمد نقطة انصهار المادة على الطاقة اللازمة لفصل ذراتها. ان نقطة انصهار لأي سبيكة يمكن ان تمتلك مدى واسع عكس المعادن النقية التي تمتلك نقطة انصهار محددة وتعتمد نقطة انصهار السبيكة على محتواها الخاص. ان اختيار المادة لتطبيقات درجة الحرارة العالية يعتمد على ملاحظة نقطة الانصهار كأحد خواص المادة المهمة لذلك يعتمد اختيار مواد القوالب كما في السباكة بالقوالب على نقطة انصهار مادة المشغولة ايضا كما يكون مدى درجة الحرارة الذي فيه يصمم الجزء او الهيكل لوظيفة ما (اي ظروف العمل) عامل مهم في اختيار المواد وتقاس نقطة الانصهار بالوحدات درجة سليليزية C° [٣] .

١ ــ ٤ ــ ٤ الحرارة النوعية :

الحرارة النوعية هي الطاقة اللازمة لرفع درجة حرارة وحدة كتلة المادة بدرجة حرارة واحدة. يكون ارتفاع درجة الحرارة في المشغولة الناتج من عمليات التشكيل او التشغيل دالة للشغل المنجز والحرارة النوعية لمادة المشغولة لذلك كلما كانت الحرارة النوعية اوطأ كلما سترتفع درجة الحرارة في المادة اكثر.تقاس الحرارة النوعية بالوحدات[$J/kg\ ^\circ k$] [٣].

١ – ٤ ـ ٥ الموصلية الحرارية

حيث أن الحرارة النوعية تشير الى ارتفاع درجة الحرارة في المادة كنتيجة للطاقة الداخلة . فأن الموصلية الحرارية تشير إلى السهولة التي تسري بها الحرارة داخل وخلال المعدن .تمتلك المواد المعدنية موصلية حرارية عالية بينما تمتلك المواد غير المعدنية (الخزفيات واللدائن)موصلية رديئة .يمكن أن تمتلك عناصر السبك تأثير هام على الموصلية الحرارية للسبائك بسبب الاختلاف الكبير في موصليتها الحرارية . تقاس الموصلية الحرارية (W/K.m) [٣] .

١ – ٤ – ٦ التمدد الحراري :

هو خاصيّة من خصائص المواد، والتي تميل فيها إلى حدوث زيادة في الحجم نتيجة ازدياد درجة الحرارة.

يمكن أن يمتلك التمدد الحراري للمواد عدة تأثيرات هامة. يتناسب معامل التمدد الحراري عموما عكسيا مع نقطة انصهار المادة. كما تمتلك عناصر السبك تاثير ثانوي نسبيا على التمدد الحراري للمعادن.ويستفاد من ظاهرة توقفات الانكماش من التمدد الحراري على سبيل المثال لتركيب اجزاء مع بعضها كجزء فيه ثقب على عمود مثل حافة سائبة او ذراع رافعة فينحني ومن ثم يزلق فوق عمود بارد او محور الدوران.عندما يسمح له ليبرد ينكمش الجزء وتصبح المجموعة جزء متكامل.يكون التمدد النسبي او التقلص مهماً في الاجزاء الالكترونية والحاسوب والدعامات في المحركات النفاثة والاجزاء المتحركة في المكائن التي تتطلب خلوصا محددا للتوظيف المناسب. ان الاختيار والتجميع غير المناسب للمواد يمكن ان يسبب اجهادات حرارية او تشقق او إعوجاج او ارتخاء الاجزاء في التركيب اثناء عمر خدمتها. ويقاس التمدد الحراري حسب وحدة قياس درجة الحراة (F^{-1},C^{-1}) [٣].

١ـ ٤ – ٧ الخواص الكهربائية والمغناطيسية :

ان الموصلية الكهربائية وخواص العزل للمواد ذات اهمية كبيرة ليست فقط في المعدات الكهربائية والمكائن بل ايضا في عمليات التصنيع مثل تشكيل الصفائح المعدنية بالنبضة المغناطيسية والتشغيل بالتفريغ الكهربائي والتجليخ الكهروكيمياوي للمواد الصلدة والهشة. يمكن ان تعرف الموصلية الكهربائية للمادة بانها مقياس للسهولة التي توصل بها المادة التيار الكهربائي يشار عموما للمواد ذات الموصلية العالية كالمعادن بالموصلات ان وحدات قياس الموصلية الكهربائية هي (mho/m) او (mho/ft) حيث معكوس أوم (ohm) وحدة قياس المقاومة الكهربائية. المقاومة الكهربائية هي معكوس الموصلية ويشار للمواد ذات المقاومة العالية بالعوازل الكهربائية وتمتلك عناصر السبك تاثير رئيسي على الموصلية الكهربائية للمعادن حيث كلما كانت موصلية عنصر السبك اعلى كلما كانت موصلية السبيكة اعلى.

ومثال على ذلك اسلاك التمديد الكهربائي في البيوت فقد استخدم التمديد الكهربائي اي (التأسيسات) من الألمنيوم في البيوت المشيدة في الولايات المتحدة بين ١٩٦٥ و ١٩٧٣ بكثرة بسبب الكلفة المتزايدة للنحاس ولقد تم افتراض ان اسلاك التمديد من الالمنيوم يمكن ان تكون خطر حريق ممكن بسبب التسخين بفعل المقاومة عند نقاط الاتصال في المفاتيح الكهربائية والمخارج كما اعلن ان تاكسد اسلاك

الالمنيوم يسبب ارتخاء السلك عند الاطراف لذا تزداد مقاومته الكهربائية وتسبب تسخين بفعل المقاومة ويمكن ان تكتشف هذه الحالة بملاحظة :

١- تصبح المناطق التي حول المفاتيح الكهربائية والمخارج ساخنة او حارة الملمس
٢- روائح احتراق لدائن العزل
٣- الدخان او الشرر
٤- بصيص الضوء
٥- فشل المفاتيح الكهربائية والدوائر الكهربائية

ولقد اعيد تصميم الاطراف الكهربائية لتلائم الالمنيوم واسلاك النحاس ايضا بتسنين سطح التلامس ان هذا التحوير يحسن التلامس (اي يقلل المقاومة الكهربائية) بين سطح السلك والاطراف. ان قوة عزل المواد هي مقاومتها للتيار الكهربائي المستمر وتعرف بانها الفولتية اللازمة لوحدة المسافة للعطل الكهربائي وتمتلك الوحدات (v/m) او (v/ft) [٣].

١- ٤ – ٨ الخواص المغناطيسية :

يطلق على المواد التي تنجذب بشدة نحو مجال القوة المغناطيسية الناتج من المصدر الكهربائي الخارجي او المغناطيس الدائم مواد مغناطيسية الحديدية (العالية النفاذية) ان العناصر الشائعة التي تسلك هذا السلوك تتضمن (الحديد ،النيكل ، الكوبلت) ان المغناطيسية الحديدية هي تمغنط كبير ودائم ناتج من تراص ذرات الحديد والنيكل والكوبلت اذ تعتبر مهمة جدا في التطبيقات مثل المحركات الكهربائية والمولدات والمحولات واجهزة الموجات الدقيقة [٣] .

١ – ٤ – ٩ مقاومة التأكل :

ان المعادن والخزفيات واللدائن جميعها عرضة للتاكل وتستعمل كلمة تاكل لتدهور المعادن والخزفيات بينما تدعى الظواهر المتشابهة في اللدائن انحلال. تكون مقاومة التاكل مظهر مهم لاختيار المادة للتطبيقات في الصناعات الكيمياوية والغذائية والنفطية وفي عمليات التصنيع ايضا بالاضافة الى التفاعلات الكيمياوية المختلفة الممكنة من العناصر والمركبات المتواجدة فان الاكسدة المحيطة وتاكل الاجزاء والتراكيب يكون شأن رئيسي خصوصا عند درجات الحرارة المرتفعة وفي السيارات ومركبات النقل الاخرى. يكون التاكل ليس فقط الى تدهور سطوح الاجزاء والتراكيب بل ايضا يقلل مقاومتها وسلامة تركيبها ان استبدال الاجزاء المتاكله ومنع التاكل يقدر ببلايين الدولارات في كل من الدول الصناعية وتقدر كلفة التاكل لاقتصاد الولايات المتحدة لوحدها ٢٠٠ بليون دولار في كل سنة. ان مقاومة التاكل تعتمد على المحيط الخاص ومحتوى المادة ايضا وقد يكون وسط التآكل مواد كيمياوية (احماض، قلويات واملاح) ،المحيط (اوكسجين، التلوث، والامطار الحامضية) والماء (نقي او مالح) تمتلك المعادن اللاحديدية والصلب المقاوم للصدأ او المواد اللامعدنية عموما مقاومة التاكل عالية . في حين يمتلك الفولاذ وحديد الزهر عموما مقاومة رديئة ويجب ان يحمى بالطلاءات المختلفة والمعالجات السطحية .كما يمكن ان يحدث التاكل على السطح الداخلي وقد يكون موضعي والذي يدعى تنقر . ويمكن ان يحدث على طول الحدود الحبيبية للمعادن كتأكل مابين الحبيبات وعند السطح البيني للوصلات المبسمرة او المبرشمة لتأكل القطع . قد يكّون معدنين متشابهين خلية جلفانية والذي يعني تكون قطبان في الكترولية في محيط أكال (يتضمن رطوبة) ويسبب تأكل جلفاني . كما تكون السبائك ذات الطوريين عرضة أكثر للتأكل الجلفاني من سبائك الطور الواحد او المعادن النقية بسبب المعدنيين المختلفيين المتضمنيين .لذلك يمكن ان تمتلك المعالجة الحرارية تأثيرا على مقاومة التأكل [٣].

١-٤-١٠ الخواص الميكانيكية :

لابد ان تمتلك المادة خواصا مناسبة لكي تكون ذات قيمة عند المهندس وخصوصا الخواص الميكانيكية هناك عدد من الاسئله التي نحتاج الى الاجابة عليها قبل اتخاذ القرار حول مواصفات الخواص للمادة وبالتالي القرار حول المادة المثلى وهذا يعني دراسة الخواص مثل المقاومة،الجساءة،الصلابة ،الصلادة ،المطيلية ،المتانة ،الكلال ومقاومة البلى والزحف. كما تصنف الخواص الميكانيكية سلوك المواد الهندسية تحت تأثير الاحمال والقوى وتعتمد استجابة المواد للقوى الواقعة عليها على نوع الربط ،ترتيب الذرات والجزيئات ، نوع العيوب المتواجدة في المادة ولهذا السبب نجد ان الخواص الميكانيكية حساسة جدا لعمليات التصنيع التي من الممكن ان تؤدي الى اختلاف كبيرفي هذه الخواص حتى ولو كان لهذه المواد نفس التركيب الكيمياوي وعلاوة على ذلك فقد وجد ان نوع الاجهاد وطريقة تطبيقه يمكن ان تغير من سلوك المادة بمقدار اكبر من التركيب الكيمياوي ،المعاملة الحرارية او درجة الحرارة [٤] .

١-٤-١٠-١ الصلادة :

ماهي الصلادة ربما تكون الصلادة هي الخاصية الاهم للمعادن . ومن الصعوبة تعريفها تعريفا دقيقا ولكن يمكن ان تعرف والى مدى جيد بأنها (مقياس لمقاومة التشكيل او انها قياس لمقاومة التغلغل) ان كلا التعريفين يشيران الى مقاومة سطح المعدن او المادة للضرر او الانبعاج او التمزق او التدهور بأي شكل من الاشكال نتيجة لقوة او ضغط يسلط عليه [٤] .

١-٤-١٠-٢ مقاومة الشد والانضغاط :

ان هذه الخاصية تمكن المادة من مقاومة قوة الشد . كما ان التركيب الذري او الجزيئي يحدد هذه المقاومة الداخلية .وتمثل خواص الشد سلوك المادة تحت تأثير حمل شد أحادي المحور ويتم تحديدها عادة من خلال اختبار الشد الهندسي وفي هذا الاختبار يتم تحميل عينة من المادة ونتيجة لذلك التحميل سوف تتعرض العينة لاستطالة مستمرة أما الانضغاط (الضغط) فيتولد عندما تؤثر القوى الخارجية التي تتولد على أثارها قوى داخلية عمودية على مقاطع الاجسام وخط تأثيرها يكون محوريا كما في حالة الشد لكن اتجاه القوى يكون عكس اتجاه القوى في حالة الشد ان هذه القوى تسبب تقارب الجزيئات داخل الاجسام مما يؤدي الى التقلص في الطول والزيادة في العرض ويستفاد من هذا الاختبار في تقييم المواد الهشة التي غالبا ما تستخدم في حالة الانضغاط لا الشد ان المواد التي غالبا ماتفحص انضغاطيا هي حديد الزهر والاجزاء المنتجة من مساحيق المعادن (اي باستخدام ميتالورجيا المساحيق) والعديد من المواد اللامعدنية كالكونكريت والسيراميك والخشب والطابوق [٤] .

١-٤-١٠-٣ المطيلية :

هي قابلية المادة لحدوث تغيير لدن كبير بها دون تشقق تحت تأثير أحمال الشد أي قابلية المادة للسحب ويتم تحديد المطيلية للمعادن عادة من خلال أختبار الشد كما إن قياس المطيلية ضروري للحالات التالية:

١- للاشارة الى مدى قابلية المعدن على التشكيل بدون كسر وخاصة في عمليات تشكيل المعادن مثل الدرفلة.

٢- إعطاء معلومات للمصممين عن قابلية المعدن على تشكيل المعدن على الانسياب اللدن قبل الكسر .

٣- من الممكن أن تكون كمعيار للتعبير عن نقاوة المعدن أو حالة التصنيع كذلك من الممكن أن تعطي أنطباعات عن نقاوة المعدن أثناء العمل [٤] .

١-٤-١٠-٤ القصافة :-

وهي عكس المطيلية وقابلية السحب فأن المادة تتعرض سريعاً للكسر عند تشكيلها سواء بالثني أو الشد مثل حديد الزهر (الاهين) والخرسانة والزجاج فأنها تنكسر تحت تأثير الحمل دون أن يحدث لها تغيير في الشكل [٤] .

١-٤-١٠-٥ المتانة :-

متانة المادة تعبير عن قابلية المادة على أمتصاص الطاقة ضمن المدى اللدن وهي تعبير أيضاً عن قابلية المادة على أستيعاب الاجهادات التي تزيد على أجهاد الخضوع دون الكسر وبما أن كمية التشوه اللدن الذي يحدث قبل الكسر هومقياس لمطيلية المعدن والاجهاد المطلوب لاحداث الكسر هو مقياس لمقاومته فأن المتانة تقترن مع مقاومة ومطيلية المعدن . وتسمى المادة التي لا تبدي تشوهاً لدناً ملحوظاً قبل الكسر بالمادة المطيلية وهكذا فأن المواد المعدنية التي تتصرف بطريقة متينة عند تحميلها ببطء ربما تفشل بكسر هشي عند تحميلها بسرعة عالية [٤].

١-٤-١٠-٦ مقاومة الصدمة :-

وهي مقياس أستجابة المادة لتحميل الصدمة فالزجاج ، حديد الزهر والماس مواد لها مقاومة صدمة منخفضة بينما المطاط وبعض أنواع البوليمرات تتميز بمقاومة صدمة عالية . ويستخدم أختبار الصدمة لدراسة سلوك المواد تحت تأثير حمل مفاجيء أو بمعنى أخر تحديد متانة المادة (مقاومتها للصدمة) وهو ضروري جداً لتحديد مواصفات المواد المستخدمة في العديد من التطبيقات كهياكل الجسور والخزانات وخطوط الانابيب وحاويات الضغط وغيرها حيث يتم خلال الاختبار تحديد الطاقة الممتصة من قبل المادة عند تعرضها لحمل مفاجيء والتي من الممكن أن تعطي أنطباعات عن كون المادة مطيلية أم هشة [٤] .

١-٤-١٠-٧ مقاومة البلى :-

قابلية المادة على حفظ أبعادها الفيزيائية عندما تخضع الى تماس الانزلاق او الدرفلة مع عضو ثاني . وهذه الخاصية تكون مرتبطة مع خاصية الصلادة . من الثابت في علم الفيزياء أن الاحتكاك لا يعتمد على مساحة التماس الا أن معدل البلى يعتمد على مساحة التماس فسيقل مقدار الحمل لوحدة المساحة ومن ثم يقل معدل البلى [٤] .

١-٤-١٠-٨ مقاومة الكلال :-

يستخدم مصطلح الكلال لبيان فشل المواد المعدنية تحت احمال متغيرة متكررة فأذا عُرضت مادة الى أجهاد متكرر أو متغير فأنها ربما تتعرض في النهاية الى الفشل حتى ولو كان أقصى أجهاد مسلط يقل بكثير عن الاجهاد اللازم لحدوث الكسر في حالة الاختبار المستقر قصير الامد ويشار الى هذا النوع من الفشل بفشل الكلال . حيث تتعرض العديد من الاجزاء الهندسية الى أحمال متغيرة كما في المحركات ذات المكابس أذ يتعرض ذراع التوصيل الى السحب والرفع بأستمرار ويكون فشلها ناتجاً

عن الكلال غالباً وليس من الضروري أن تتعرض المادة بأكملها الى أجهادات متغيرة . يحدث الفشل بفعل الكلال عادة في مواقع عدم التجانس الداخلية أو عند أماكن العيوب السطحية والتغير الحاد في المقاطع كالزوايا والحافات . ويكثر حدوث كسر الكلال في أجزاء المكائن والطائرات والسيارات والمنشأت التي تتعرض لأحمال متكررة مما يتسبب في حدوث انهيار بعد عمر قصير من الاستعمال .
أن العوامل الرئيسية التي تؤثر على خواص الكلال هي :

١- تركيز الاجهادات .
٢- التأكل .
٣- الاجهادات المتبقية .
٤- الانهاء السطحي .
٥- درجة الحرارة .
٦- التركيب المجهري للسبيكة [٤] .

١-٤-١٠-٩ التزحف :-

يشير مصطلح التزحف الى التشوه اللدن البطيء الذي يحدث مع التحميل الطويل وعند درجات حرارية عالية عادة (بين 0.3 الى 0.4Tm) للمعادن و (0.4 الى 0.5Tm) للخزفيات . حيث تمثل Tm درجة الحرارة المطلقة لانصهار تلك المادة . حيث تعاني المعادن اللينة (كالرصاص) من التزحف عند درجة حرارة الغرفة ولكن يظهر التزحف في معظم المواد المعدنية عند الدرجات الحرارية العالية وبصورة عامة تبدي المواد ذات درجات الانصهار العالية أفضل مقاومة للتزحف. وربما ينتج عن هذا التشوه التدريجي وعلى مدى فترة زمنية طويلة للكسر عند اجهادات اقل من مقاومة المادة الاعتيادية . أما في اللدائن فأن التزحف يكون ذا تأثير كبير جداً عند درجات حرارة الغرفة. حيث تتعرض العديد من الاجزاء وخاصة تلك التي تعمل عند درجات الحرارة العالية مثل التوربينات الغازية والبخارية ومعامل تكرير الزيت أو البترول وبعض المعدات البتروكيمياوية والمفاعلات النووية ومحركات الصواريخ للفشل بفعل ظاهرة التزحف والذي هو عبارة عن تشكيل بسيط أو أنفعال لدن بسيط يحدث تحت تأثير إجهاد معين ويعتمد حدوثه على الزمن وقد يسبب التزحف تغيرات بسيطة في الابعاد والشكل تزداد مع الزمن وتؤدي في النهاية الى الكسر ولذلك يجب على المصمم أخذ هذه الظاهرة بنظر الاعتبار وخاصة في المكائن التي تحتوي على أجزاء ثابتة وأخرى متحركة [٤] .

١-٤-١٠-١٠ الانحناء :-

الانحناء عبارة عن تقوس محور الاعمدة عند تعرضها للاحمال أو القوى المزدوجة الخارجية التي يمر مستوى تأثيرها بمحور تلك الاعمدة . يوفر أختبار الحني طريقة مبسطة في تعيين مطيلية المواد أو مُلامتها لبعض الاغراض الخاصة [٤] .

١-٤-١٠-١١ التركيب الكيميائي والبنية المجهرية :-

أن التركيب الكيميائي عبارة تراكيز العناصر في المادة وترتيب الذرات أو الجزيئات والتفاعل مع بعضها لتكوين الاطوار المختلفة . حيث أن خواص المواد الهندسية ترتبط بشكل مباشر مع الترتيب الداخلي للذرات أو الجزيئات وكيفية تفاعل هذة الترتيبات مع بعضها . كما أن تفاعلات المادة المختلفة التي تنشأ بواسطة استجابة المادة للمعاملات الحرارية المختلفة أو الاجهادات المسلطة هي نتيجة التركيب الداخلي المتباين للمواد المعدنية واللامعدنية . لذلك فأن إدراك التشابه والاختلاف مابين المواد يعتبر من الامور المهمة جداً بالنسبة لمهندس التصميم وهذه المعرفة تمكنه من إختيار المواد الاكثر مُلائمة وكيفية التعامل معها لتعيين خواصها . إذ ان أي أختلاف في التركيب الكيميائي المحدد لأي مادة يعني الحيود عن الخواص المطلوبة [٤] .

الفصل الثاني

الفصل الثاني

٢- اختبار الشد :

المقصود باختبار الشد هو الاختبار الذي يتم فيه تسليط حمل شد متزايد على العينة التي تم تحضيرها مسبقا بناءً على مواصفات قياسية معينة , وذلك بتثبيت طرفيها بمعدات خاصة و تسليط الحمل بشكل محوري و بصورة متعاكسة ,و بذلك يزداد طول العينة نتيجة لهذا الشد او السحب. ان اختبار الشد هو اكثر الاختبارات شيوعا و بساطة ,المعلومات التي يتم الحصول عليها من هذه الاختبارات ذات اهمية خاصة للمصمم . وفي كثير من الاحيان تجري الاختبارات على المواد المصنعة بحجمها الكامل بنفس الصيغ المتبعة في اختبار العينات ,ومثال على ذلك الاختبارات التي يتم اجراءها على اطوال معينة من الاسلاك والقضبان والانابيب والحبال السلكية وغيرها [٥].

٢-١ الهدف من إجراء اختبار الشد :

- تحديد قدرة المعادن المختلفة (المطيلة Ductility نصف المطيلة Semi- ductile - الهشاشة / القصافة Brittleness على تحمل اجهاد الشد .
- تحديد مقدار الاستطالة أو الانفعال الحادث للمواد المعدنية نتيجة أحمال الشد.
- تحديد مقاومة الشد القصوى للمواد المعدنية.
- تحديد معامل المرونة Modulus of Elasticity للمواد المعدنية.
- رسم المنحنى البياني للحمل والاستطالة للمواد المعدنية.
- رسم المنحنى البياني للإجهاد والانفعال Stress-Strain Curve للمواد المعدنية [٥].

٢-٢ المواصفات القياسية للعينات المستخدمة في اختبار الشد:

أشكال العينات القياسية المستخدمة في اختبار الشد متنوعة ولها مقاسات موحدة فمنها المستديرة الطويلة والقصيرة ومنها المسطحة الطويلة والقصيرة .شكل رقم (6) يوضح شكل عينة قياسية مستديرة وعينة قياسية مسطحة. يكون قياس قطعة الاختبار القياسية حسب حالة العينة التي تجهز منها هذه القطعة بحيث تكون النسبة بين طول القياس والجذر التربيعي للمساحة يساوى مقدارا ثابتا ويكون المقطع شكلا هندسيا منتظما (مستدير أو مستطيل)، وبصفة عامة تستخدم قطع الاختبار المستديرة عند إجراء اختبار الشد .وتكون الأبعاد كالاتي :

Lo =10 do في المقطع المستدير $Lo=11.3\sqrt{Ao}$ في حالة القطع الطولية

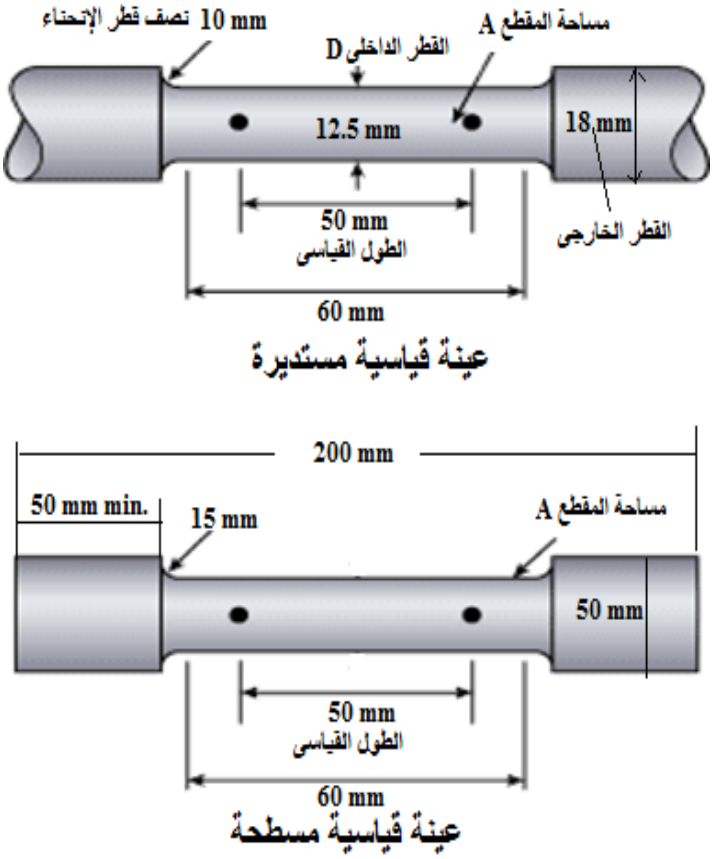
Lo =5 do في المقطع المستدير $Lo=5.65\sqrt{Ao}$ في حالة القطع القصيرة

حيث ان :

Ao : مساحة المقطع للعينة عند الطول القياسي، والمساحة القياسية هي: $A=\pi r^2$

L o : الطول القياسي للعينة.

d_o : العرض القياسي في حالة العينة المسطحة والقطر القياسي في حالة العينة المستديرة [٥].



شكل رقم (٦)

عينات قياسية لاختبار الشد

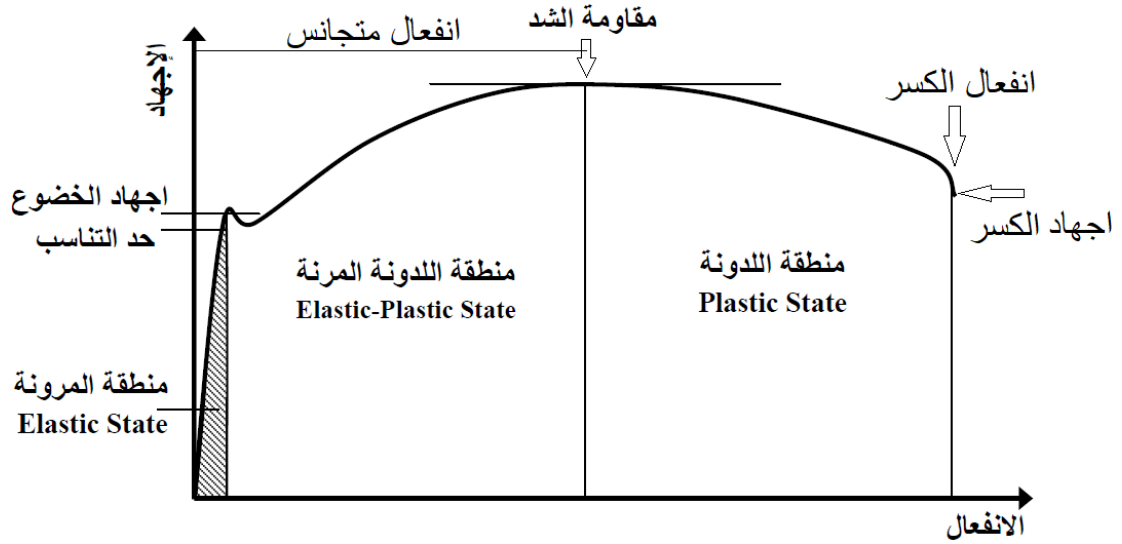
٢-٣ مصطلحات هامة :

- **حد المرونة : Elastic limit** هو أقصى إجهاد يتحمله المعدن بحيث يرجع المعدن إلى حالته الأصلية بعد إزالة الحمل.

- **إجهاد الخضوع :Yield Stress** هو الإجهاد الذي يحدث عنده زيادة ملحوظة في الاستطالة بدون زيادة في الحمل أي أن الانفعال يزداد بدون زيادة في الإجهاد .وفى هذه الحالة يتم عندها التحول من الانفعال المرن إلى الانفعال اللدن أي نستطيع أن نلخصها بأنها حالة نهاية المرونة وبداية اللدونة للمعدن.

- **مقاومة الشد القصوى للمادة :Ultimate Tensile strength** هي أقصى حمل تستطيع المادة تحمله قبل الكسر.

ويوضح شكل رقم (7) منحنى الإجهاد والانفعال (Stress-Strain Curve) هو منحنى يوضح العلاقة بين الإجهاد والانفعال للمواد المختلفة .ويتم رسم هذا المنحنى عن طريق إجراء اختبار الشد لعينة معدنية



شكل رقم (7)

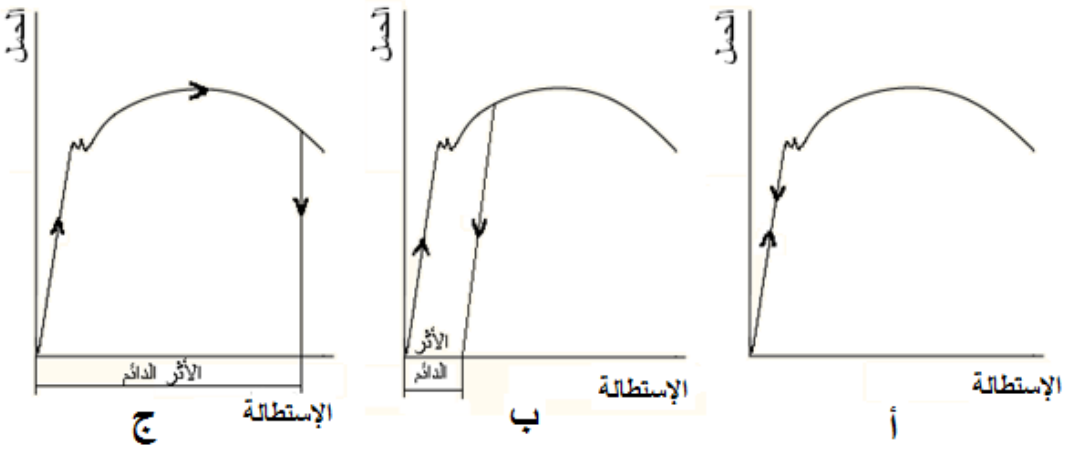
منحنى الإجهاد – الانفعال لعينة مطيلية اثناء اختبار الشد

الأثر الدائم :هو الإزاحة التي تحدث للعينة أثناء إجراء الشد عليها .ويوجد ثلاث حالات حسب قيمة الحمل المؤثر على العينة كما هو مبين في شكل رقم (٨)

الحالة الأولى :عند زوال الحمل في منطقة المرونة تسترجع العينة أبعادها الأصلية كما هو مبين في شكل رقم (٨-أ)

الحالة الثانية :عندما يصل الحمل على العينة إلى المنطقة المشتركة بين المرونة واللدونة كما في شكل رقم (8 - ب) يظهر تشوه في أبعاد العينة ولا تستعيد شكلها الأصلي، ويقاس الأثر الدائم بعمل خط موازي لخط التناسب الموجود بمنطقة المرونة من على نقطة حد الخضوع بالمنحنى ليقطع محور الاستطالة في نقطة تحدد منطقة الأثر الدائم

الحالة الثالثة :تصل العينة لمنطقة اللدونة كما في شكل رقم(8 -ج) ولا تستعيد المادة شكلها نهائيا ويظل التشوه موجود بها ويحدد الأثر الدائم بتقاطع قيمة الحمل مع الاستطالة [٥].



شكل رقم (٨)

قياس الأثر الدائم في حالة وجود الحمل المؤثر

(أ) منطقة المرونة-(ب) منطقة المرونة–اللدونة (ج) اللدونة .

٢-٤ أنواع الكسور :

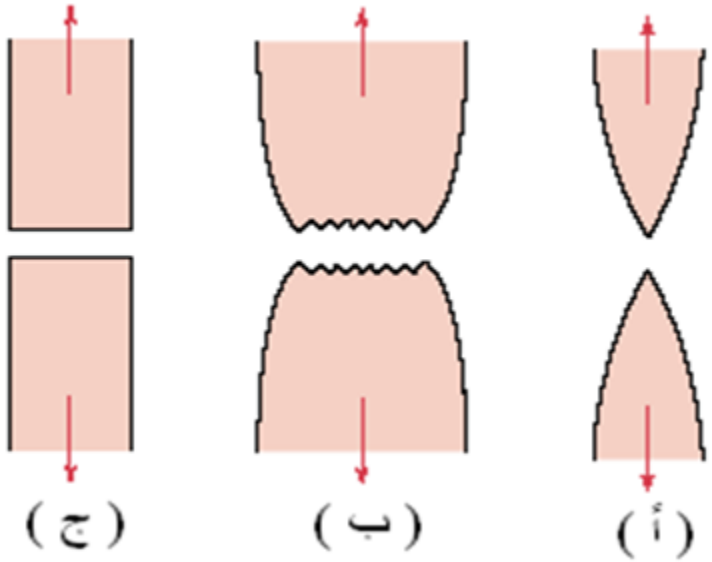
تنقسم أنواع الكسور للمعادن الناتجة من اختبار الشد حسب الشكل، حالة السطح أو اللون الكسر. بالنسبة للشكل قد تكون كسور متماثلة مثل كسر القدح والمخروط أو الكسر المسطح أو غير منتظم أو المتقطع أو كسور غير متماثلة .أما حالة السطح فهي تصف السطح إما بالملمس الناعم أو بالجزيئات الصغيرة أو الجزيئات الكبيرة أو الليفي أو المتبلور أو الزجاجي ولون الكسر قد يكون لامع أو داكن [٥].

٢-٤-١ أشكال الكسور حسب طبيعة المعدن:

- **معادن مطيلة : ductile metals** عندما تتعرض عينة من الصلب الطري والتي تعتبر مادة مطيلة فإن الاستطالة تزداد تدريجيا مع الحمل حتى تصل إلى حد المرونة ثم تتعرض بعدها لإجهاد الخضوع وهي بداية منطقة اللدونة .ثم يزداد الحمل حتى يصل إلى أقصى حمل (مقاومة الشد القصوى) ومنه تبدأ ظاهرة الرقبة أو العنق حيث يحدث تشوه كبير للعينة قبل حدوث الكسر على هيئة قدح أو مخروط كما هو مبين بشكل رقم (9) حيث يكون السطح خشنا في منتصف القطع المستعرض وملمس ناعم عند الحروف.

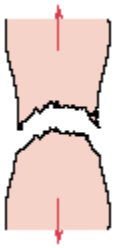
- **معادن نصف مطيلة :**منحنى الإجهاد والانفعال للمعادن النصف مطيلة له نفس الشكل العام لمنحنى المعادن المطيلة إلا أنه لا يوجد له منطقة الخضوع، ويكون الحمل أكثر والاستطالة أقل من مثيلاتها من المعادن المطيلة .ويكون الكسر على هيئة قدح ومخروط ولكن برقبة أقل وضوحا من المعادن المطيلة.

- **معادن هشة(قصفة :)**يتميز منحنى الإجهاد والانفعال للمعادن القصفة منذ بدايته بكونه عبارة عن خط مائل وليس خطا مستقيما والمعدن يحدث له تشوه صغير جدا مقارنة بالمواد الأخرى كما لا تتكون رقبة وأن الكسر يحدث عند وصول التحميل إلى الحمل الأقصى .هنا يكون شكل الكسر على هيئة مستوى عمودي على اتجاه قوة الشد مسطحا ومحببا. ويوضح شكل رقم (10) الصور المتنوعة للكسور في المعادن المختلفة [٥].



شكل رقم (10)

أشكال الكسور في اختبار الشد لمادة مطيلة(أ) ومادة نصف مطيلة(ب) ومادة قصفة(ج)



شكل رقم (9)

شكل القدح والمخروط الذى يظهر عند الكسر المطيل والنصف المطيل.

٢-٥ شرح مكونات وطريقة عمل الجهاز:

- يوضح شكل رقم (11) ماكينة اختبار الشد للمواد، والتي تتكون من فكين أحدهما ثابت (الفك السفلي)والأخر متحرك(الفك العلوي)ويوجد بأحد جانبيه لوحة تحكم يدوي للتحكم في حركة الفك العلوي وزر للتشغيل وملحق أيضا بالماكينة جهاز استشعار لمراقبة ونقل أداء العينة لجهاز الحاسوب الخاص بالجهاز.
- يتم تثبيت العينة بين فكي الجهاز العلوي والسفلى وضبط طرفي جهاز الاستشعار حول العينة لنقل التطورات (الأنفعالات) التي تحدث في شكل العينة مع تغير حمل الشد عليه [٥].

شكل رقم (11) ماكينة اختبار الشد للمواد

٢-٦ إختبار الصلادة :

الصلادة هي مقاومة المادة للخدش، التغلغل، أو التآكل . أي أن صلادة المادة هي الخاصية التي تمكنها من الاحتفاظ بشكل سطحها سليما متماسكا تحت تأثير الأحمال، لذلك فيمكننا القول أن صلادة المعدن تعبر عن قدرته على مقاومة البري أو مقاومة حدوث علامة به أوهى مقاومة التآكل نتيجة الاحتكاك بالتحميل [٥] .

٢-٦-١ أهمية اختبار الصلادة:

معظم المواصفات القياسية تحتم ضرورة عمل اختبار الصلادة للمعادن واعتباره كاختبار قبول أو رفض لها .فهناك العديد من الاختبارات التي تستخدم لتحديد صلادة المادة كاختبار فيكرز Vickers's test أو اختبار برينل Brinell's test أوأختبار روكويل Rockwell وغيرها من الاختبارات الأخرى، وتستخدم نتائج اختبارات الصلادة في الأغراض الأتية :

- تحديد نسبة الكربون المناسبة لإضافتها في صناعة الصلب لأنه من المعروف أن كلما قلت نسبة الكربون في المعدن كلما قلت صلادته .
- معرفة صلادة المعدن قبل التشغيل يساعد في تحديد ماكينات التشغيل المناسبة ومن ثم التحكم في الإنتاج .
- ترتيب المعادن حسب صلادتها ومن ثم تحديد الاستخدام المناسب لها في التطبيقات الصناعية المختلفة .
- التأكد من ملائمة ودقة عمليات المعالجة الحرارية المستخدمة في صناعة المعادن لأن هذه العمليات تؤثر تأثيرا مباشرا على صلادة سطح المعدن .
- استخدام طريقة برينل لعمل اختبارات الصلادة يمكنها إعطاء القيمة التقريبية لمقاومة الشد للمعدن دون الحاجة إلى إجراء اختبار متلف له .
- معرفة مدى تأثير طريقة تشغيل المعدن للشكل المطلوب على صلادته وذلك بإجراء اختبار صلادة للمعدن قبل وبعد عملية التشغيل[٥] .

٢-٦-٢ اختبار برينل Brinell للصلادة :

يستخدم رقم برينل .Brinell No للصلادة للتعبير عن صلادة المعدن الخاضع للاختبار الذي يحسب كما يلي :

رقم صلادة برينل = حمل الاختبار **(kg)** / مساحة أثر الكرة على قطعة الاختبار (mm^2) كما هو موضح بالعلاقة التالية شكل رقم (12 و13) [٥].

$$\boldsymbol{Brinell\ \ Hardness\ \ Number = B.H.N = F / \pi \times D \times h}$$

حيث أن:

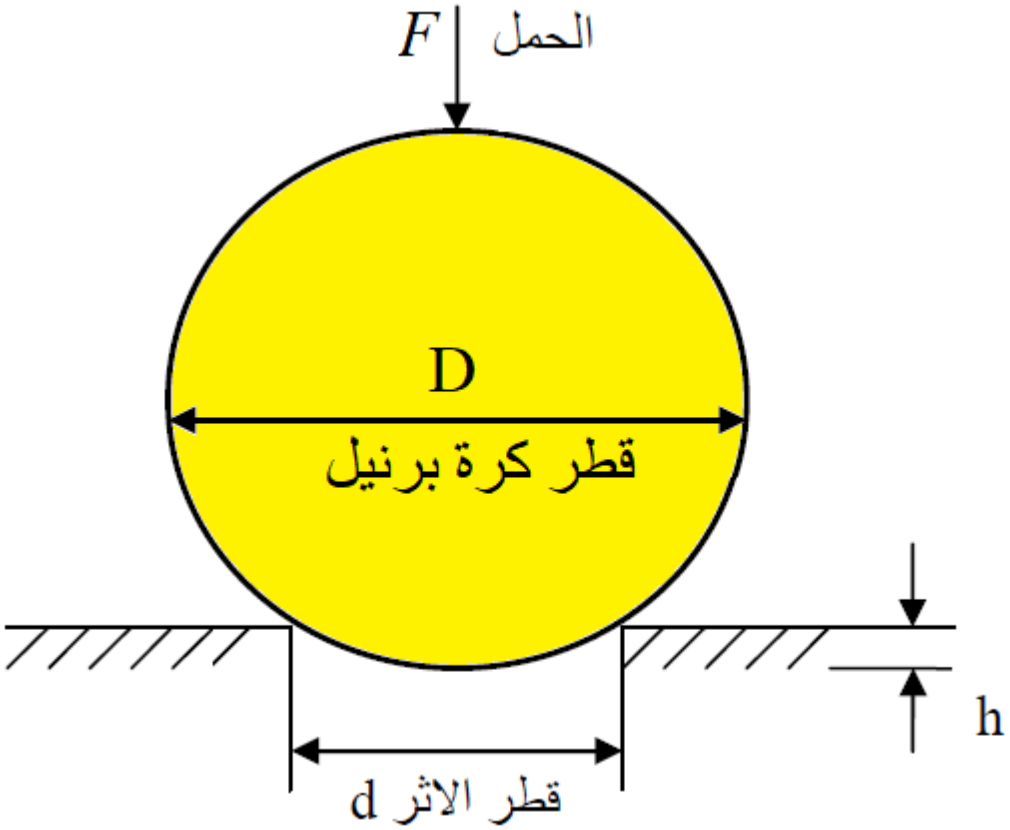
h : عمق الأثر (mm)

D : قطر كرة برينل (mm)

d : قطر الاثر (mm)

F : حمل الاختبار (kg)

شكل رقم (12) أداة اختبار برنل للصلادة



شكل رقم(13) اثر كرة برينل للصلادة

٢-٦-٣ اختبار فيكرز Vickers للصلادة :

تم تطوير أختبار صلادة فيكرز عام ١٩٢١ من قبل شركة فيكرز كبديل لطريقة برينل لقياس صلادة المواد وتمتاز بأمكانية أستخدامها لأختبار جميع المواد بغض النظر عن صلادتها كما تمتاز بالقدرة على قياس صلادة العينات الرقيقة أو المصلدة سطحياً لعمق قليل . ففي أختبار صلادة فيكرز يتم الضغط على سطح عينة الاختبار بالحافة المسلوبة لهرم ماسي رباعي الاوجه تبلغ الزاوية بين جوانبة ١٣٦° كما في شكل رقم (14) [٥].

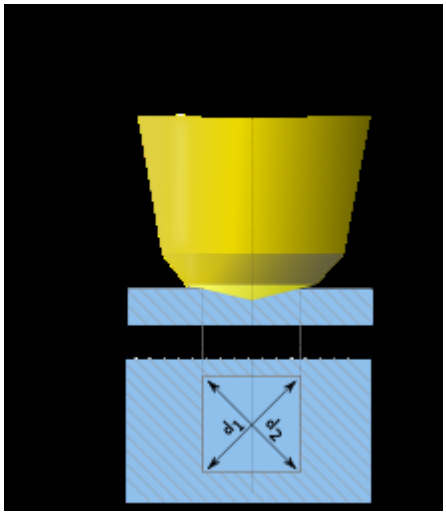
يحسب رقم فيكرز للصلادة كالتالي:

رقم صلادة فيكرز = حمل الاختبار (kg) / مساحة أثر الكرة على عينة الاختبار (mm^2)

حيث أن:

d : قطر الاثر (mm^2)

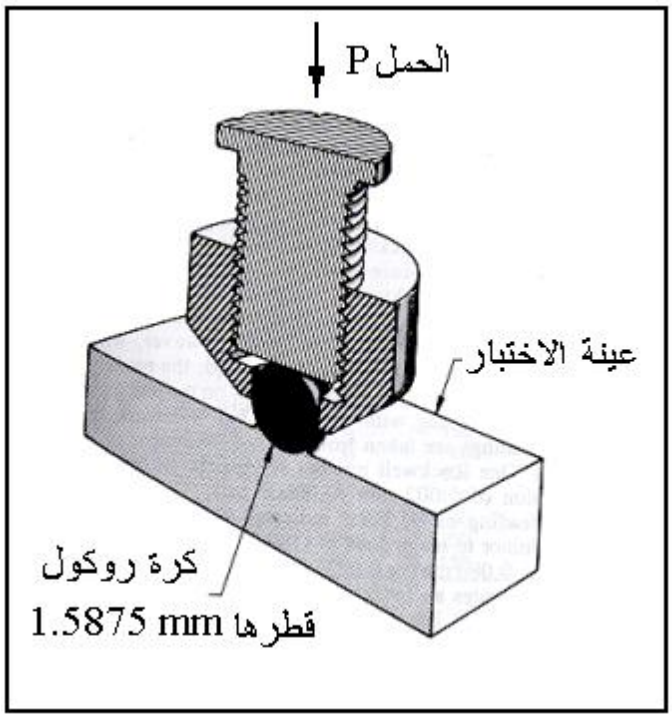
F = حمل الاختبار (kg)



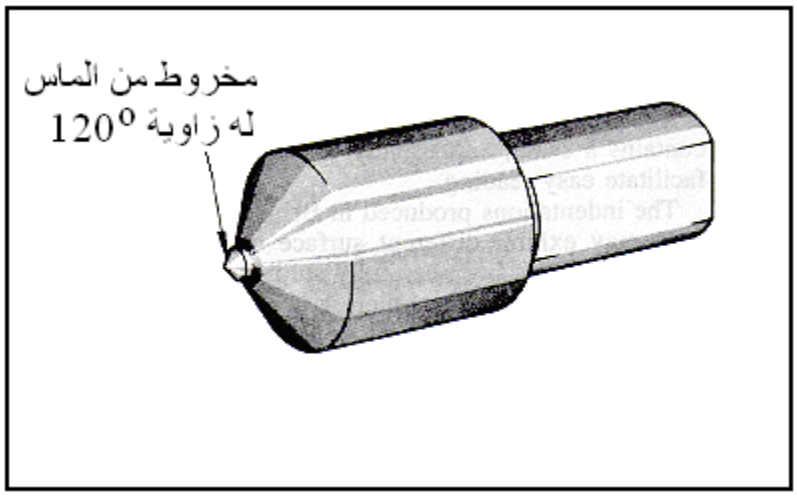
شكل رقم (14) الاثر المُستخدم بطريقة فكرز

٢-٦-٤ أختبار روكويل Rockwell :

الجسم المُحدث للاثر في أختبار روكويل عبارة عن كرة صغيرة من الصلب قطرها 1.5875 mm أو مخروط من الماس له زاوية 120° كما مُبين في الاشكال (15أ و ب) .



شكل رقم (15- أ) شكل الاداة كرة صغيرة من الصلب



شكل رقم (15 – ب) شكل الاداة مخروط من الماس

وتتميز طريقة روكويل بأمكانية أختبار صلادة المعادن مُختلفة الصلادة سواء كانت صلادتها صغيرة أو كبيرة . أضافة الى امكانية الحصول على رقم الصلادة مُباشرةً من الجهاز بدون أجراء حسابات ، كما يمكن لمن ليست لديهم خبرة بتعيين رقم صلادة روكويل من خلال تشغيل الجهاز وقراءة رقم الصلادة بصورة مُباشرة وكذلك الاثر الناتج من طريقة روكويل صغير جداً مما يترك سطح القطعة سليماً نسبياً [٥].

الفصل الثالث

الجانب العملي

٣- الجانب العملي :

أن القصد من التطرق الى المواد الهندسية والخواص التي تمتلكها هذه المواد فيما سبق كانت للاشارة الى ان أي مُختص بالمعادن من المُفترض أن يمتلك الحد الادنى من هذه المعلومات كي يتمكن من التعامل معها من ناحية أختيار الانسب منها وطرق فحصها والتنبؤ بخواصها أعتماداً على معرفة إحدى هذه الخواص عندما يُراد أتخاذ قرارات مبدئية سريعة أو عندما لا يراد إتلاف النماذج كون هُناك الكثير من المُنتجات تحتاج الى فحوصات دورية أثناء الخدمة مما يتطلب فحصها دون إتلافها .
أستطاع العالم برينل أن يُثبت عملياً أن هُناك علاقة تقريبية بين رقم برينل للصلادة ومُقاومة الشد للمعادن مما يفيد في معرفة مُقاومة الشد للمعادن دون الحاجة الى أجراء أختبار مُتلف عليها بأستخدام العلاقة أدناه :

$$\sigma TS = B.H.N(Kg/mm^2) \times 9.81 \times 0.36 \quad \text{---------- 1}$$

حيث ان:
σTS(Mpa) : مقاومة الشد
B.H.N : رقم صلادة برينل
٩,٨١ : التعجيل الارضي
٠,٣٦ : ثابت
وعلى هذا الاساس تم أحتساب مُقاومة الشد **(σ TS)** عن طريق فحص مجموعة من النماذج لعينات من الفولاذ الكاربوني (قضبان الفولاذ الكاربوني المحزز لتسليح الخرسانة) من خلال فحص الشد مرة ومرةً أُخرى بأستخدام العلاقة أعلاه لغرض اجراء مُقارنة بين القيم الفعلية لمُقاومة الشد والقيم التقريبية للتحقق من أمكانية الاستفادة من هذه العلاقة لأيجاد خاصية مُقاومة الشد لفولاذ التسليح تقريبياً دون أجراء فحص الشد .

٣-١ تحضير العينات :

تم أختيار مجموعة من النماذج لعينات من الفولاذ الكاربوني (قضبان الفولاذ الكاربوني المحزز لتسليح الخرسانة) عدد (١٠) بطول (٦٠سم) لأجراء فحوصات الشد بأستخدام جهاز شد نوع (**Tinius Olsen**) شكل رقم (16) . وتقطيع عينات بطول (٥سم) من كل عينة لغرض اجراء فحص الصلادة بطريقة برينل بأستخدام جهاز فحص صلادة نوع (**BRIVISKOP**) شكل رقم (17) . اخذين بنظر الاعتبار مايلي:

- أن لا يقل سُمك قطعة الاختبار عن عشرة أمثال عمق الاثر حتى لا يظهر أي أنبعاج للسطح الخلفي لقطعة الاختبار نتيجة تسليط الحمل عليه .
- أن يكون سطح قطعة الاختبار مصقولاً وخالياً من الشحم والزيوت حتى نتمكن من قياس قطر أثر كرة برينل بدقة .
- الا تقل المسافة بين مركز كرة برينل وحافة قطعة الاختبار عن مرتين ونصف قطر الاثر والا تقل المسافة بين مركزي أثرين متجاورين عن أربعة أمثال قطر الاثر .

قطر الكرة المُستخدم (D)= 2.5) mm (
الحمل المُستخدم (F) = 187.5 Kgf
بموجب العلاقة أدناه :

$$\frac{F}{D} = C - - - -2$$

حيث أن :
F = الحمل المُستخدم
D = قطر الكرة
C = ثابت = ٣٠

تم صقل العينات بواسطة جهاز صقل العينات (POLISHING MACHINE) بأستخدام أوراق تنعيم بدرجات تنعيم (120, 400 , 500 , 800 , 1000) شكل رقم (18) .
كما تم أجراء فحص التحليل الكيميائي للنماذج المستخدمة لتحديد نسبة الكاربون بواسطة جهاز الانبعاث الطيفي (Optical Emission Spectroscopy)

شكل رقم (16) جهاز فحص الشد

شكل رقم (17) جهاز فحص الصلادة

شكل رقم (18) جهاز تحضير العينات

شكل رقم (19) جهاز التحليل الكيميائي

شكل (20) عينات فحص الصلادة

الفصل الرابع

النتائج والمُناقشة

٤- النتائج والمناقشة :

تم أجراء فحوصات الشد والصلادة بطريقة برينل والتحليل الكيميائي لنماذج مُنتخبة من مُنتج قضبان الفولاذ الكاربوني المحزز لتسليح الخرسانة (حديد التسليح).
الواردة الى قسم الصناعات الهندسية لأيجاد مُقاومة الشد الفعلية من خلال فحص الشد ومُقاومة الشد التقريبية بواسطة المُعادلة التي تم ذكرها مُسبقاً أي بواسطة فحص صلادة برينل وكذلك تم تحديد نسبة الكاربون لكل منها بواسطة التحليل الكيميائي للنماذج كون عنصر الكاربون من العناصر الاساسية المؤثرة على قيم الصلادة فكلما زادت نسبة الكاربون الى نسب مُعينة زادت قيمة الصلادة وبالتالي زيادة مُقاومة الشد كون العلاقة بين الصلادة ومُقاومة الشد علاقة طردية . أدناه جدول رقم (١) يُبين قيم مُقاومة الشد الفعلية والتقريبية ونسبة الكاربون للنماذج .

جدول رقم (١) يُبين القيم الفعلية والتقريبية لمُقاومة الشد وقيم صلادة برينل ونسبة الكاربون

التسلسل	مُقاومة الشد الفعلية Mpa	قيم صلادة برينل Kg/mm^2	مُقاومة الشد التقريبية Mpa	نسبة الكاربون %
١	٦٧٥	١٩٩	٧٠٣	٠،٢٩
٢	٦٧٣	٢٠٧	٧٣١	٠،٣٠٧
٣	٦٦٢	١٩٧	٦٩٦	٠،١٥٨
٤	٥٩٨	١٧٥	٦١٨	٠،٢٨٤
٥	٦٧٥	١٨٥	٦٥٣	٠،٢٩١
٦	٦٩٣	٢٠٥	٧٢٤	٠،١٨٧
٧	٦٧٤	٢١٨	٧٣١	٠،٣١٥
٨	٦٧٧	١٩٢	٦٧٨	٠،٢٩٦
٩	٧٢٤	٢٠١	٧١٠	٠،٢٠٨
١٠	٦٩١	٢١٧	٧٦٦	٠،١٤٢

من خلال مُناقشة النتائج المُبينة في الجدول أعلاه وبالمُقارنة بين قيم مُقاومة الشد الفعلية والتقريبية فيمكن القول بأنه تم الحصول على نتائج مقبولة حيث بلغت أقل نسبة فرق بين القراءة الفعلية والتقريبية (٠،١٥ %) وأكبر نسبة (١١ %) . أما بالنسبة لتأثير نسبة الكاربون على قيم الصلادة فلم يكن لها تأثير واضح والسبب يعود الى أن النماذج المُنتخبة للفحص والتي أجُريت عليها الدراسة كانت عبارة عن نماذج داخلة لغرض الفحص من عدة جهات وهي موردة من مناشيء مُختلفة ومُصنعة وفق مواصفات مُختلفة . كما نود ان نؤكد من خلال نتائج قيم الصلادة التي تم الحصول عليها والمُبينة في الجدول أعلاه بأن صلادة المعادن أو السبائك هي معيار مهم جداً لتقييم خواصها بصورة مبدأية فكلما كانت قيم الصلادة عالية كلما كانت قيم مُقاومة الشد وكذلك قيم بعض الخواص مثل (مُقاومة الخضوع والبلى والاحتكاك) عالية أي يمكن تخمين قيم هذه الخواص مبدأياً وبصورة تقريبية من خلال قيم الصلادة .

الاستنتاجات والتوصيات

الاستنتاجات والتوصيات

الاستنتاجات :

١- تم الحصول على قيم تقريبية مقبولة لمُقاومة الشد من خلال أجراء فحص الصلادة ومُقارنتها مع مُقاومة الشد الفعلية .

٢- لم يكن لنسبة الكاربون تأثير واضح والسبب كون النماذج المُختارة للفحص كانت مُختلفة المنشأ ومواصفة الصنع .

٣- أثبتت النتائج أن قيم الصلادة أداة فعالة لتقييم خواص المعادن والسبائك كمُقاومة الشد والخضوع ...الخ) .

٤- بالرغم من أن النماذج المُختارة للفحص كنت مُختلفة الا أن أكبر نسبة فرق بين مُقاومة الشد الفعلية والتقريبية كانت ١١ % وأقل نسبة فرق كانت ٠،١٥ % .

التوصيات :

١- زيادة عدد النماذج لغرض الفحص كون عدد النماذج التي أجُري عليها الفحص قليلة بعدد (١٠) نماذج بسبب قلة النماذج الواردة للفحص بسبب جائحة كورونا وتوقف العمل تقريباً في تلك الفترة .

٢- أختيار النماذج على أن تكون من منشأ واحد ومُصنعة وفق مواصفة واحدة لضمان ثبات المُتغيرات التي تؤثر في عملية التصنيع .

٣- أجراء دراسة للاستفادة من قيم الصلادة لتقييم وتخمين خواص أخُرى غير مُقاومة الشد بصورة تقريبية دون أجراء فحوصات إتلافية.

٤- استخدام الطريقة النظرية لأيجاد مقاومة الشد التقريبية للتحقق من القيمة الفعلية لمقاومة الشدفي مختبر الميكانيك ولنماذج عشوائية.

المصادر

المصادر :

١- د . جعفر طاهر الحيدري " المواد الهندسية واختباراتها "سنة الاصدار ٢٠١٤

٢- د . جعفر طاهر الحيدري ، أ. م عدنان نعمة عبود " المعادن – بُنيتها وخواصها ومعاملاتها الحرارية سنة الاصدار ١٩٨٩.

٣- أ. د قحطان خلف الخزرجي ، د. عباس خماس " أختيار المواد الهندسية " سنة الاصدار ٢٠١١

٤- أ. د محمود إمام ، أ . د محمد مهدي ، د . محمد أمين " خواص المواد وأختباراتها "سنة الاصدار ١٩٨٥

٥- مصلحة الكفاية الانتاجية والتدريب المهني " خصائص واختبارات المواد الهندسية " سنة الاصدار ٢٠١٨