**Лекция 10 Твердость, связь с прочностью**

*Подробно тема лекции изложена в учебных пособиях, указанных в «Литературе»*

**Механические свойства конструкционных материалов**

К основным механическим свойствам конструкционных материалов и сплавов, определяющим работоспособность и область их применения, относят: твердость, прочность, упругость, пластичность, вязкость, выносливость. Приведем краткие определения этих понятий.

Твердость – сопротивление материала проникновению в него другого более твердого тела.

Прочность – сопротивление материала разрушению при воздействии внешних напряжений.

Упругость – способность материала восстанавливать свои размеры и форму при снятии внешних напряжений. Не всегда упругость считают отдельной самостоятельной характеристикой материала. Часто упругость считают элементом прочностной характеристики материала.

Пластичность – способность материала приобретать остаточную (пластическую) деформацию при нагружении, менять размер и форму, не разрушаясь.

Вязкость – это сопротивление материала динамическому, ударному воздействию нагрузки. Динамические испытания на ударный изгиб позволяют выявить склонность стали к хрупкому разрушению.

Выносливостьили сопротивление усталости – это способность металла сопротивляться процессу постепенного возникновения и развития трещин под влиянием многократных повторных силовых воздействий, величина которых намного меньше предельной прочностной нагрузки, за счет чего при таком разрушении не возникает видимой пластической деформации.

Все вышеназванные свойства имеют и количественные параметры. Этипараметры могут быть получены с использованием различных схем нагружения. Например, прочность можно оценить при растяжении, сжатии, изгибе, кручении. Естественно, что количественные параметры, полученные с использованием различных схем нагружения, будут существенно отличаться. Предел прочности для серых чугунов, определенный при растяжении, в два раза меньше предела прочности, полученного при изгибе, и в четыре раза меньше, определенного при сжатии. Имеет значение и скорость приложения нагрузки. С увеличением скорости предел прочности растет, для малоуглеродистой стали предел прочности при ударном нагружении на 30% выше, чем при статическом. Чтобы оценить пригодность какого-либо материала, выполнить приемо-сдаточные испытания, а особенно при арбитражных спорах, нужно провести количественную оценку его свойств в условиях, идентичных для подобного класса материалов. Соответствующие виды и способы испытаний оговорены в ГОСТах на каждый класс материалов. Уровень свойств стандартных широко используемых в практике материалов приводится в ГОСТах, справочной литературе или учебниках материаловедения.

**Испытания на твердость**

Из всех видов механических испытаний твердость материала как сопротивление вдавливанию определяется чаще всего и практически для любых материалов. Это объясняется тем, что испытание на твердость не приводит к разрушению изделий, не ограничивает величину детали или изделия, отличается простотой, скоростью, а также портативностью применяемых приборов. При определении твердости существуют разные методы воздействия твердого тела на поверхность испытуемого материала: метод вдавливания, метод царапанья, упругой отдачи. Поскольку более распространен метод вдавливания, приведем важнейшие способы определения твердости этим способом.

**Твердость по Бринеллю**

Испытание на твердость по Бринелю проводится путем вдавливания стального закаленного шарика диаметром 10 мм, 5 мм или 2,5 мм под действием нагрузки, величина которой определяется толщиной образца и уровнем измеряемой твердости (таблица 1). После снятия нагрузки на поверхности остается отпечаток, который измеряют с использованием особой лупы с делениями. Твердость определяется по формуле:

 ,

где *Р* – усилие, действующее на шарик, кг;

*S* – площадь поверхности отпечатка, мм²;

*D* – диаметр шарика, мм;

*d* – диаметра отпечатка, мм;

*НВ* – твердость по Бринеллю.

Чтобы ускорить и упростить испытание для различных значений диаметра отпечатка d и нагрузки Р в специальных таблицах подсчитаны величины НВ.

Образец для испытания на твердость должен быть плоскопараллельным, очищенным от окалины и других загрязнений. С целью повышения точности измерений количество отпечатков должно быть не менее 2, каждый отпечаток промеряется в двух перпендикулярных направлениях, и результат определяется как среднеарифметический. При этом расстояние от края образца до центра отпечатка должно быть не менее 2,5d, а расстояние между отпечатками > 4d. Диаметры отпечатков должны находиться в пределах 0,2D < d < 0,6D.

Число твердости при стандартных условиях (шарик 10 мм, нагрузка 3000 кг, выдержка под нагрузкой 10 с) пишут так: НВ400 (твердость 400 единиц по Бринеллю). Если условия испытания другие, то обозначение твердости дополняется этими условиями. Например, НВ5/250/30-200 означает: число твердости 200 при испытании шариком 5 мм под нагрузкой 250 кг в течение 30 с.

Таблица 1 - Условия испытания материалов по методу Бринелля

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Мате-риал | Интервал  твердости  в числах  Бринелля | Толщина испытуемого образца,  мм | Соотношение между нагрузкой и диаметром шарика D | Диаметр шарика D,  мм | Нагрузка Р,  кг | Выдержка под нагрузкой,  с |
| Черные металлы | 140-450 | от 6 до 3  от 4 до 2  менее 3 | P=30D² | 10,0  5,0  2,5 | 3000  750  187,5 | 10 |
| То же | <140 | более 6  от 6 до 3  менее 3 | P=10D² | 10,0  5,0  2,5 | 1000  250  62,5 | 10 |
| Цветные металлы | >130 | от 6 до 3  от 4 до 2  менее 2 | P=30D² | 10,0  5,0  2,5 | 3000  750  187,5 | 30 |
| То же | 35-130 | от 9 до 3  от 6 до 3  менее 3 | P=10D² | 10,0  5,0  2,5 | 1000  250  62,5 | 30 |
| То же | 8-35 | более 6  от 6 до 3  менее 3 | P=2,5D² | 10,0  5,0  2,5 | 250  62,5  15,6 | 60 |

Твердость испытываемых методом Бринелля материалов не должна превышать НВ450 во избежание деформирования стального шарика и искажения результатов испытания. Такими материалами являются цветные металлы и сплавы, а также сырые незакаленные стали и чугуны.

**Твердость по Роквеллу**

Если использование метода Бринелля ограничено средней твердостью (до 450 НВ), то метод Роквелла позволяет измерить твердость до 1000 НВ, что намного расширяет круг испытуемых материалов и делает этот метод более универсальным. Мягкие материалы испытываются стальным шариком D = 1,58 мм, твердые – алмазным конусом с углом 120°. Для этого предусмотрены разные нагрузки: шарик нагружается средней нагрузкой – 100 кг, а конус – двумя нагрузками 150 и 60 кг. Большая нагрузка предусмотрена для измерения твердых и относительно прочных материалов, таких как закаленные стали. Твердые и хрупкие материалы, например, твердые сплавы, испытываются при малой нагрузке. В соответствии с этими нагрузками прибор имеет три шкалы измерения: А, B, C. В отличие от метода Бринелля твердость по Роквеллу измеряется не в кг/мм2, а в условных единицах, соответствующих разности между глубиной отпечатка от предварительной нагрузки – 10 кг и окончательной нагрузки. За единицу измерения принята величина, отвечающая осевому перемещению шарика или конуса на глубину 0,002 мм.

Это перемещение измеряется автоматически на приборе, и стрелка индикатора сразу показывает отсчет твердости по соответствующей шкале. Запись чисел твердости производится с обозначением шкалы, например, НRС60, НRВ90, НRА70. Твердость по Роквеллу – безразмерная величина. При необходимости твердость по Роквеллу может быть переведена на твердость по Бринеллю с использованием соответствующих переводных таблиц.

Метод Роквелла вследствие относительной простоты и высокой скорости, широкого диапазона материалов по твердости, высокой точности и небольшого отпечатка на испытуемом материале получил широкое применение. Рекомендуемые условия испытания приведены в таблице 2. Расстояние между центрами отпечатков либо до края образца не должно быть меньше 3 мм.

Таблица 2 - Условия испытаний по методу Роквелла

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Обозначения | | Тип  инден-тора | Нагрузка, кг | | Рекомендуемые  пределы  измеренй  по Роквеллу | Соответству-ющие значения твердости  по Бринеллю, кг/мм² |
| шкалы | чисел  твердости | предварительная | оконча-тельная |
| A | HRA | алмазный конус | 10 | 60 | 70 – 85 | 360 – 800 |
| C | HRC | алмазный конус | 10 | 150 | 20 – 67 | 230 – 700 |
| B | HRB | стальной шарик | 10 | 100 | 25 – 100 | 40 – 230 |

**Твердость по Виккерсу и микротвердость**

Испытания по Виккерсу и определение микротвердости идентичны. Нагружение проводится алмазной четырехгранной пирамидой с углом при вершине 136°. По нагрузке, приходящейся на единицу площади отпечатка, определяется число твердости:

*НV=1,8544 Р/d2* кг/мм2,

где *Р* – нагрузка на пирамиду, кг;

*d* – диагональ отпечатка, мм.

Разница между этими методиками состоит в величинах используемых нагрузок. В методе Виккерса используются нагрузки 5–100 кг, а при микроиспытаниях 5–500 г. Определение твердости по Виккерсу проводится на твердомере Виккерса, микроиспытания на приборе ПМТ-3.

Толщина испытуемых образцов должна быть не менее 1,5 диагоналей. Чтобы отпечаток имел правильную форму, образец должен быть обязательно плоскопараллельным, его поверхность должна быть шлифованной и полированной, так как отпечаток измеряется с использованием микроскопа ввиду его малых размеров.

Оба метода не имеют ограничений по измеряемой твердости. Метод Виккерса применяется для измерения твердости и толщины упрочненных поверхностных слоев методами цементации, азотирования и цианирования конструкционных сталей. Более тонкие слои, полученные азотированием и цианированием инструментальных сталей, борированием, хромированием инструмента и т.д. испытываются на микротвердомере. Метод микротвердости используется для измерения твердости отдельных структурно-фазовых составляющих. Твердость при микроиспытаниях на приборе ПМТ-3 обозначается Нμ.

Следует отметить, что до твердости НВ400 числа твердости по Бринеллю и Виккерсу совпадают, при более высокой твердости величина НV превышает НВ, и чем выше твердость, тем больше расхождение.

**Связь между твердостью и прочностью материалов**

Статистическая обработка экспериментальных результатов позволила определить зависимость между твердостью по Бринеллю и пределом прочности для сырых незакаленных сталей и других металлов и сплавов. Эта зависимость описывается простым уравнением:

.

Таблица 3 - Значения коэффициентов «*K*» для различных материалов

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № п/п | Материалы | Значение «k» |
| 1 | Чугуны | 0,15 |
| 2 | Алюминиевые сплавы литейные | 0,25 |
| 3 | Алюминиевые сплавы деформируемые | 0,38 |
| 4 | Стальное литье | 0,32-0,36 |
| 5 | Малоуглеродистые кованые и горячекатаные стали | 0,36 |
| 6 | Высокопрочные стали | 0,33 |
| 7 | Аустенитные стали и медные сплавы | 0,45 |
| 8 | Титановые сплавы | 0,30 |

Из таблицы видно, что значение коэффициента k в значительной степени зависит для одного и того же материала от структурного строения. Деформация алюминиевых сплавов ведет к увеличению коэффициента в 1,5 раза. Не меньший разбег коэффициента можно получить при изменении структуры стали. Если технологические процессы получения и обработки материалов надежно устойчивы, то для каждой группы материалов можно подобрать переходный коэффициент и оценивать прочность по измерению твердости. В иностранной литературе прочность, полученную таким способом, предложено называть «прочностью по Бринеллю». Такое определение прочности возможно только для пластичных вязких материалов. Для хрупких материалов эта методика не применима.