Исследование механических свойств материалов при низких температурах.

 Для определения механических свойств при низких температурах используют те же стандартные методы , что и для исследований их при комнатной или повышенной температуре .

 Главным узлом всякой установки для испытаний при низких температурах является ванна (криостат) , обеспечивающая необходимые условия. При испытаниях до температуры -77К ( -196С - температура жидкого азота ) применяются двухстенные ванны из красной меди , латуни или нержавеющей стали с войлочной изоляцией . При температурах ниже -77К криостат состоит в большинстве случаев из двух вставленных друг в друга стеклянных или металлических сосудов Дьюара , пространство между которыми заполнено жидким азотом .

 Температура до 153К измеряется термометрами (спиртовыми , толуоловыми , пентановыми ) , ниже 153К - термопарами ( пластиновыми , медь-константовыми ) . Иногда температура помещённого в охлаждающую среду образца определяется по прекращению кипения зеркала жидкости , при этом считается , что он принял температуру хладагента .

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  Хладагент |  Охлаждающая смесь |  Темпе | ратура |
|  |  |  °С |  °К |
| Твёрдая углекислота  (сухой лёд ) | Размельчённый сухой лёд со спиртом или ацетоном  | -40 ÷ -70 | 233 ÷ 203 |
|  Жидкий азот | Жидкий азот со спиртом или бензином |  -100 |  173 |
|  | Жидкий азот с петролеумным эфиром |  - 120  |  153 |
|  | Жидкий азот с изолентаном |  -160 |  113 |
| Жидкий кислород | ------- |  -183 |  90 |
| Жидкий азот | ------- |  -196 |  77 |
| Жидкий неон | ------- |  -246 |  27 |
| Жидкий водород | ------- |  -253 |  20 |
| Жидкий гелий | ------- |  -269 |  4 |
| Жидкий гелий ( с откачкой ) | ------- |  -271,5 |  1,6 |
| Гелий-3 ( с откачкой ) | ------- |  -272,8 |  0,3 |

 **Определение склонности сплавов к коррозионному растрескиванию при постоянных нагрузках .**

 При одновременном действии статических растягивающих напряжений ( внешних или внутренних ) и коррозионной среды многие сплавы подвержены коррозионному растрескиванию .

 Характерными особенностями коррозионного растрескивания являются :

1. хрупкий характер разрушения .
2. направление трещин перпендикулярно растягивающим напряжениям ; при этом трещины имеют межкристаллитный или транскристаллитный , или , наконец , смешанный характер.
3. зависимость времени до растягивания от величины растягивающих напряжений : с уменьшением растягивающих напряжений время до растрескивания увеличивается.

 Коррозионному растрескиванию подвержены алюминиевые сплавы типа дуралюмина , сплавы систем Al-Mg , Al-Mg-Zn , Al-Mg-Cu , мягкие стали , коррозионные стали , медные сплавы , высокопрочные низколегированные стали , магниевые сплавы и др.

 Большинство исследователей считают , что процесс коррозионного растрескивания имеет электрохимическую природу . Образование трещин при коррозии под напряжением сплавов связывается с возникновением гальванического элемента “концентратор напряжений (анод) - остальная поверхность (катод)” , с ускорением процесса распада пересыщенных твёрдых растворов , в результате чего возникают местные гальванические элементы и коррозионные трещины развиваются вследствие растворения вновь образующихся анодных участков , с механическим разрушением плёнок , избирательной коррозией пересыщенных твёрдых растворов , изменением внутренней энергии , абсорбции поверхностно-активных анионов и катионов среды и др.

 Изучение кинетики развития трещины при коррозии под напряжением высокопрочных сталей методом электросопротивления показало , что процесс развития трещин складывается из трёх этапов . На первом этапе образуется коррозионная трещина . На втором этапе происходит скачкообразное развитие трещины , что свидетельствует о значительной роли механического фактора . Переход от первого этапа ко второму сопровождается значительным увеличением скорости развития трещины . На третьем этапе происходит лавинообразное развитие трещины .

 При определении склонности сплавов к коррозионному растрескиванию растягивающие напряжения в образцах создаются двумя способами :

1. путём приложения постоянной нагрузки .
2. путём сообщения образцу постоянной деформации ( изгиб ) .

 Полная характеристика склонности сплава к коррозионному растрескиванию может быть получена путём снятия кривых коррозионного растрескивания от величины растягивающих напряжений .

 σ, кг/мм(2) Рис. 1 Кривая коррозионного растрескивания стали 30ХГСНА в камере с распылённым 150 3 % NaCl .

100

50

 0 25 50 75 τ , сутки

 Образование коррозионных трещин связано с неравномерным увеличением скорости коррозии сплава при приложении растягивающих напряжений . Если v1- cкорость коррозии в месте концентрации напряжений , v2 - скорость коррозии на остальной поверхности сплава , то образование коррозионной трещины будет происходить при напряжениях , когда v1 > v2 . Чем больше разность скоростей коррозии v1 - v2 , тем больше склонность сплава к коррозионному растрескиванию . Эти положения лежат в основе уравнения кривой коррозионного растрескивания .

 (1) (σ-σкр ) τ = К , где

σ - извне приложенное растягивающее напряжение ;

σкр - критическое напряжение , ниже которого не происходит коррозионного растрескивания ;

τ- время до растрескивания ;

К - константа , характеризующая меру увеличения скорости распространения коррозионной трещины (1/τ) при увеличении растягивающих напряжений . Чем больше К , тем в меньшей степени увеличивается скорость распространения трещины при увеличении растягивающих напряжений .

 При извне приложенных напряжениях , равных или меньше σкр , коррозионного растрескивания не происходит . Величина σкр является основной количественной характеристикой сопротивления сплава коррозионному растрескиванию , чем выше σкр , тем выше сопротивление сплава коррозионному растрескиванию . Уравнению (1) удовлетворяют экспериментальные данные по коррозионному растрескиванию низколегированных высокопрочных конструкционных сталей в кислых , нейтральных и щелочных растворах и во влажной среде ; латуни в растворе аммиака ; низколегированных мягких сталей в растворе азотнокислого аммония , щелочи ; алюминиевого сплава В96 в 3 % растворе NaCl ; магниевого сплава МА2-1 в атмосферных условиях и МА3 в растворе NaCl + K2Cr2O7 ; ряда коррозионностойких сталей в 3 % растворе NaOH + 0,15% NaCl при повышенной температуре .

 На рисунке (2) приведена кривая коррозионного растрескивания α - латуни в растворе аммиака ( плотность 0,94 ) при полном погружении :

 σ, кг/мм(2) Обращает на себя внимание тот факт , что для латуни в растворе аммиака 8 критическое напряжение меньше нуля

 ( -23,1 Мн/м(2) или 2,31 кг/мм(2) ) . Это 6 указывает на возможность её коррозионного растрескивания в 4 отсутствии извне приложенных 2 напряжений ( за счёт внутренних напряжений ) .

 10 14 18 22 26 30 34 τ , час

 В указанных условиях для α - латуни кривая коррозионного растрескивания описывается уравнением :

 ( σ + 2,31 )τ= 115,6 кг/{мм(2)\*ч};

 На величину критического напряжения оказывают влияние :

1. состав коррозионной среды ,
2. химический и фазовый составы сплава ,
3. термическая обработка ,
4. состояние поверхностного слоя ,
5. величина и характер внутренних напряжений .

 Низколегированные высокопрочные стали типа 30ХГСНА обнаруживают коррозионное растрескивание в кислых , нейтральных , щелочных растворах и во влажной атмосфере . Между результатами испытаний на коррозии . Под напряжением высокопрочных сталей во влажной атмосфере ( атмосфера индустриального района , пресная , тропическая камера , и камера с распылением 3%-го раствора NaCl ) и в 20%-ном растворе серной кислоты с добавкой 30 г/л NaCl имеется определённая связь : чем больше критическое напряжение в указанном растворе , тем больше время до растрескивания напряжённых образцов во влажной атмосфере .

 Рис. 3 Зависимость времени растрескивания высокопрочных сталей при напряжении 145 кг/мм(2) от величины σкр .

 150 1-

1. пресная камера ;
2. индустриальная атмосфера ;
3. тропическая камера ;

50 2 3- 4- 4. камера с распылением 3%-го NaCl ( 20% раствор H2SO4 c добавкой NaCl (30 г/л) ).

 0 10 20 30 40 50 60 70 σкр (кг/мм(2))

 Одним из важных факторов , определяющих сопротивление высокопрочных сталей коррозионному растрескиванию , является характер и величина внутренних напряжений в поверхностном слое . С увеличением внутренних растягивающих напряжений сопротивление стали коррозионному растрескиванию понижается . Создание сжимающих напряжений в поверхностном слое обкаткой , вибронаклёпом , обдувкой чугунным , кварцевым или корундовым песком повышает сопротивление стали коррозионному растрескиванию . Увеличение содержания углерода в α-Fe приводит к увеличению внутренних напряжений , в результате чего критическое напряжение стали понижается . Чем больше содержание легирующих элементов , затрудняющих диффузию углерода , тем выше температура отпуска , при которой наблюдается понижение сопротивления стали коррозионному растрескиванию . Так , если для стали 30ХГСНА понижение σкр наблюдается после отпуска при 250°С , то для стали 40ХН2СВА (ЭИ643) , содержащей больше легирующих элементов , тормозящих диффузию углерода - при 400°С .

 При дальнейшем повышении температуры отпуска сопротивление стали коррозионному растрескиванию повышается .

 При коррозии под напряжением с водородной деполяризацией может происходить наводораживание и связанное с этим ухудшение механических свойств стали . Высказываются соображения , что наблюдаемое в указанных условиях растрескивание стали происходит не вследствие увеличения скорости коррозии при положении растягивающих напряжений , а за счёт наводораживания ( водородное растрескивание ) . С другой стороны , если исходить из адсорбционной гипотезы влияния водорода на механические свойства стали и допустить , что сопротивление хрупкому разрушению стали линейно уменьшается с увеличением концентрации адсорбированного водорода , то зависимость времени до растрескивания от величины извне приложенных растягивающих напряжений можно описать уравнением :

 (2) (σ - А)√τ = Кн , или σ = А + Кн (1/√τ) , где Кн - константа ;

 А - сопротивление хрупкому разрушению стали при данной концентрации адсорбированного водорода ;

 Экспериментальные данные по водородному растрескиванию при катодной поляризации в кислых и щелочных растворах (Рис. 4) удовлетворяют уравнению (2) . Зависимость времени до растрескивания наводороженной при кадмировании стали от величины растягивающих напряжений ( Рис. 5) также описывается уравнением (2) .

σ , кг/мм(2) Рис. 4 σ , кг/мм(2) Рис. 5

 70 200

 60

 50 150

 40

 30

 20 100

 10

 1/√τ ,

 5 10 15 1/√τ , мин(-1/2) 0,02 0,04 0,06 0,08 0,1 мин(-1/2)

Кривая водородного растрескивания Кривая водородного растрескивания кадми-

стали 30ХГСНА (катодная поляриза- рованной стали ЭИ643 (надрезанные образ-

ция при 1А/дм(2) в 20%-ном H2SO4 + цы ) .

+ NaCl (30 г/л) ) .

 Как видно из рисунка 5 , при изображении экспериментальных данных по водородному растрескивания кадмированной стали в координатах σ, 1/√τ получаем прямую , что находится в соответствии с уравнением (2) .

 Таким образом , различная функциональная зависимость τ от σ при водородном и коррозионном растрескивании , уравнения (1) и (2) позволяют различать эти явления .

 **Влияние среды на разрушения сплавов при циклических нагружениях .**

 Коррозионная усталость металла - процесс постепенного накопления повреждений , обусловленных одновременным воздействием переменных нагрузок и коррозионно-активной среды , которые приводят к уменьшению долговечности и снижению запаса циклической прочности .

 Под воздействием коррозионных сред значительно снижается усталостная прочность сталей и сплавов . Величина снижения в большинстве случаев зависит от коррозионной стойкости материала . Следует отметить , что структурное состояние стали влияет на предел коррозионной усталости . Наиболее неблагоприятна структура низкого отпуска . Показатели коррозионной усталости сталей после закалки и отпуска ниже чем нормализованных и отожженных .

 Наиболее низкое значение предела коррозионной усталости свойственно сталям (некоррозионностойким ) с мартенситной структурой . При σв , равном 170-200 кг/мм(2) , предел коррозионной усталости не превышает 15 кг/мм(2) (рис. 6) .

 Повышение предела выносливости на воздухе не увеличивает выносливость в коррозионной среде . Предел коррозионной усталости коррозионностойких сталей обычно пропорционален пределу прочности при растяжении (см. рис. 6 ) до 130-140 кг/мм(2) .

 Сплавы титана не чувствительны к воздействию коррозионных сред в условиях переменных нагрузок . Пассивность титана обусловлена наличием на его поверхности окисной плёнки, не имеющей пор. Существует мнение , что в окисных плёнках возникают остаточные напряжения сжатия . По некоторым данным , в растворах хлоридов при наличии острого концентратора типа трещины или острого надреза невосприимчивость титановых сплавов к воздействию среды исчезает . Долговечность образцов с трещиной в морской воде ниже долговечности на воздухе .

 Предел выносливости алюминиевых и магниевых сплавов снижается от воздействия среды в 1,8 - 3 раза . Сопротивление усталости медных сплавов при испытании в пресной и морской воде снижается незначительно.

 Для всех материалов последовательное действие напряжений и коррозионной среды менее опасно , чем одновременное .

 Характерным для коррозионной устойчивости является появление на поверхности образцов гораздо большего числа трещин , чем у испытываемых на воздухе .

 а) б)

 σ , кг/мм(2) σ , кг/мм(2)

 80 24

 75 22

 70

 65 16

 12

 10

 12 8

 10(5) 10(6) 10(7) N 10(5) 10(6) 10(7) N

 Рис. 6 . Кривые коррозионной усталости стали 30ХГСНА (а) и алюминиевого сплава Д1 (б) .

 - испытания на воздухе ;

 - испытания в водопроводной воде (полное погружение) ;

 На кривой коррозионной усталости металлов отсутствует горизонтальный участок , и даже при очень большом числе циклов она остаётся наклонной к оси абсцисс , при этом угол наклона с увеличением базы может уменьшаться (рис. 7) .

 Предел коррозионной усталости в значительной степени зависит от частоты нагружений , причём эта зависимость обнаруживается в области частот до 50 Гц . Это связанно с тем , что для большинства материалов время нахождения под воздействием среды вносит существенную поправку в получаемые результаты . Поэтому увеличение частоты нагружений с десятков циклов в минуту до десятков тысяч циклов в минуту вызывает повышение характеристик коррозионной усталости .

 Сопоставляя влияние концентрации напряжений при испытании на воздухе и в коррозионной среде , можно отметить , что при испытаниях на коррозионную усталость действие концентраторов напряжений ослабляется . С повышением длительности испытаний ( понижением уровня напряжений ) увеличивается роль коррозионного фактора , определяющего снижение предела коррозионной усталости образца с надрезом и сглаживается влияние остроты надреза .

 Для нержавеющих сталей , склонных к щелевой коррозии , наличие острых концентраторов при коррозионной усталости оказывается значительно более опасным , чем в условиях обычной усталости .

 Проявление масштабного фактора в условиях коррозионной среды отличается от наблюдаемого на воздухе . когда с увеличением диаметра образца предел выносливости металла уменьшается . С увеличением диаметра образца предел его коррозионной усталости увеличивается . Для стали . например , изменение диаметра образца с 5 до 40 мм , приводит к повышению предела коррозионной усталости на 46% . При наличии концентрации напряжений проявление масштабного эффекта усиливается .

 Состав среды является одним из основных факторов , определяющих снижение циклической прочности металла . Однако для разных материалов наиболее опасным оказываются различные среды .

 В условиях циклических нагружений атмосфера не является инертной средой . Влияние атмосферы зависит от количества находящейся в ней влаги . Так , повышение относительной влажности с 58 до 100% снижает предел коррозионной усталости сталей на 4 - 5 кг/мм(2) .

 Предел коррозионной усталости алюминиевого сплава Д16-Т при полном погружении в раствор хлористого натрия составляет 5 кг/мм(2) , а при подаче каплями- 9 кг/мм(2) . Это объясняется тем , что пассивирующий эффект кислорода воздуха в большей степени проявляется при коррозионной усталости металлов , образующих с ним окисные или гидроокисные защитные плёнки . поэтому выносливость алюминиевого сплава возрастает с увеличением аэрации , чего не наблюдается у сталей .

 В подавляющем большинстве исследований коррозионно-усталостная прочность металлов определялась в 3%-ном растворе NaCl , значительно снижающем усталостную прочность сталей и алюминиевых сплавов . Прочность металла в конструкциях , эксплуатирующихся в слабоагрессивных средах , значительно выше .

 σ-1 , кг/мм(2) Рис. 5

 Конструкционные стали ,

 нержавеющие стали

 70

 Воздух

 60

 50

 Нержавеющие стали

 40

 Конструкционные стали

 30

 Водопроводная вода

 Морская вода

 0

 20 40 60 80 100 120 140 160 180 200 220 240 σв, кг/мм(2)

График зависимости предела коррозионной усталости от предела прочности для различных сталей .

 **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ , ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ПРИ НАПИСАНИИ ДОКЛАДА .**

1. Под редакцией Туманова А. Т. “ Методы исследования механических свойств металлов ”. Том 2 , Москва , “Машиностроение” , 1974 год.
2. Под редакцией В. А. Винокурова “Сварка в машиностроении” , том 3 , Москва , “Машиностроение” , 1979 год .
3. Рахштадт А. Г. , Геллер Ю. А. “Металловедение” , Москва , 1994 год .
4. А. В. Бакиев “Технология аппаратостроения” , Уфа , 1995 год .