



## КОРРОЗИЯ НЕРЖАВЕЮЩИХ СТАЛЕЙ

Высокая коррозионная стойкость нержавеющей сталей определяется их свойством легко пассивироваться даже в обычных атм. условиях за счет кислорода воздуха. Это свойство зависит от содержания хрома — основного легирующего элемента нержавеющей сталей. Наименьшее содержание хрома, обеспечивающее сталям пассивное состояние, составляет 12%. С увеличением содержания хрома коррозионная стойкость нержавеющей сталей в окислительных условиях резко возрастает. Никель также способствует пассивации нержавеющей сталей, но в значительно меньшей степени. Коррозионная стойкость нержавеющей сталей также сильно зависит от содержания углерода; как правило, с увеличением его содержания коррозионная стойкость нержавеющей сталей значительно снижается. Для придания высокой коррозионной стойкости в ряде случаев нержавеющей стали дополнительно легируют молибденом, медью, титаном, ниобием и др. элементами.

Коррозионная стойкость нержавеющей сталей зависит от структурного состояния.

Наибольшей коррозионной стойкостью обладают твердые растворы, легированные хромом и никелем. Все факторы, увеличивающие неоднородность структуры нержавеющей сталей с образованием карбидов, нитридов и интерметаллидов хрома, приводят к уменьшению концентрации хрома в твердом растворе и снижению коррозионной стойкости нержавеющей сталей. Коррозионная стойкость нержавеющей сталей определяется устойчивостью пассивной пленки и зависит от природы агрессивной среды.

Как правило, в окислительных средах нержавеющей стали обладают высокой коррозионной стойкостью, а в неокислительных водных средах скорость коррозии нержавеющей сталей высока и возрастает с повышением содержания хрома, т. к. хром в этих условиях термодинамически неустойчив вследствие разрушения пассивной пленки.

Т. о., нержавеющей стали устойчивы в растворах азотной кислоты, различных нейтральных и слабоокислительных растворах при доступе кислорода и неустойчивы в соляной, серной и плавиковой кислотах.

В последнее время установлено, что нержавеющей стали теряют также свою устойчивость в сильноокислительных средах вследствие разрушения пассивных пленок при высоком окислительно-восстановительном потенциале среды.

Пассивное состояние нержавеющей сталей возникает при определенных потенциалах и скоростях катодной реакции.

Для возникновения пассивного состояния любого металла, в т. ч. и нержавеющей сталей, необходимо, чтобы окислительно-восстановительный потенциал среды, а следовательно, потенциал катодной реакции превышал значения первого критич. анодного потенциала пассивации металла и чтобы катодный ток (скорость катодного процесса) превышал значение плотности критич. анодного тока пассивации. Несоблюдение этих условий приводит к активному состоянию, и нержавеющая сталь интенсивно растворяется. Условия пассивности нержавеющей сталей обеспечиваются в окислительных средах, а условия активного состояния — в восстановительных или слабоокислительных средах, что соответствует экспериментальным данным по коррозионной стойкости нержавеющей сталей в различных средах. Чем выше содержание хрома, тем отрицательнее потенциал пассивации и ниже плотность тока анодной пассивации нержавеющей сталей. Указанные электрохимические параметры характеризуют склонность нержавеющей сталей к пассивации.

При переходе из активного состояния в пассивное на сталях может быть отмечено неустойчивое состояние, при этом в зависимости от влияния различных факторов металл может достигнуть полной пассивности или вновь перейти в активное состояние. Полная пассивность сталей достигается при более высоких потенциалах, которые зависят от состава сталей, а в ряде случаев от состава раствора (напр., присутствия активаторов). Установлено, что пассивное состояние нержавеющей стали может быть нарушено путем анодной поляризации при высоком потенциале или созданием сильноокислительных условий с высоким окислительно-восстановительным потенциалом среды.

Различные состояния нержавеющей стали (активное, пассивное, неустойчивое и состояние перепассивации) могут быть хорошо показаны с помощью потенциостатических диаграмм скорости коррозии — потенциал или плотность анодного тока — потенциал, при этом имеется в виду ток эквивалентный скорости коррозии без учета тока, расходуемого на выделение водорода в области сильно отрицательных потенциалов или выделение кислорода в области сильно положительных потенциалов.

В активной области и области перепассивации скорость коррозии нержавеющей стали возрастает с увеличением потенциала в соответствии с законом электрохимической кинетики. В неустойчивой области, наоборот, скорость коррозии нержавеющей стали уменьшается с увеличением потенциала, что связано с постепенной пассивацией поверхности нержавеющей стали. При достижении полной пассивации скорость коррозии нержавеющей стали практически не зависит от потенциала.

Коррозионная стойкость нержавеющей стали определяется величиной стационарного потенциала и его расположением по отношению к значениям критических потенциалов. Значение стационарного потенциала соответствует точке пересечения катодной кривой с кривой анодной поляризации. С помощью поляризационной диаграммы могут быть показаны все три основных состояния (активное, пассивное, состояние перепассивации), определяющие электрохимически-коррозионное поведение нержавеющей стали.

Скорость коррозии зависит не только от состава стали, но и от значения pH, природы и концентрации активаторов, внутренних и приложенных извне напряжений, температуры, присутствующих ингибиторов. В зависимости от этих факторов изменяются значения критических потенциалов, а также плотности анодного тока, эквивалентные скорости коррозии, т. е. потенциостатические диаграммы могут смещаться в координатах; скорость коррозии — потенциал. Так, с увеличением концентрации активаторов и температуры сужается область пассивного состояния и увеличивается скорость коррозии в пассивном состоянии. Увеличение температуры и концентрации водородных ионов приводит также к увеличению скорости коррозии нержавеющей стали в активном состоянии. Анодные ингибиторы могут изменять скорость коррозии в пассивном состоянии и значение потенциалов полной пассивации и перепассивации, а также ток пассивации нержавеющей стали.

Согласно современным представлениям, пассивное состояние металлов определяется адсорбционной или фазовой пленкой, образующейся на поверхности металла. Для нержавеющей стали характерно образование фазово-адсорбционных пленок, при этом фазовые пленки могут образовываться как до погружения нержавеющей стали в раствор («первичные пленки», возникающие на воздухе), так и при погружении в раствор, когда при глубокой пассивации (время, потенциал) адсорбционной пленки перерастают в фазовые пленки, обнаруживаемые электронно-графическими и химическими методами. Образующиеся фазовые пленки способствуют более глубокой пассивации нержавеющей стали в порах пленки и местах нарушения фазовой пленки вследствие эффекта самополяризации, при этом данные пленки

выполняют функции эффективного катода, реагирующего на окислительно-восстановительные свойства раствора. В результате самополяризации кислород глубоко внедряется в металл.

Межкристаллитная коррозия аустенитных нержавеющей сталей проявляется в сварном соединении и при неправильной термической обработке нержавеющей стали (нагрев в интервале 500—800°). Явление межкристаллитной коррозии обусловлено тем, что зерна находятся в пассивном состоянии, а границы зерен — в активном состоянии. Условия пассивации тела зерна и границы зерен резко различаются вследствие образования по границам зерен карбидов хрома в виде непрерывной цепочки и участков, обедненных хромом (меньше 12% хрома), в то время как тело зерна сохраняет в твердом растворе высокое содержание хрома (более 12%), способное поддерживать зерно в пассивном состоянии. Вместе с тем при образовании карбидов и интерметаллидов по границам зерен возникают внутр. напряжения, также затрудняющие пассивацию границ зерен. Наибольшую склонность к межкристаллитной коррозии имеют аустенитные стали, нестабилизированные титаном или ниобием. В сварном соединении эффект межкристаллитной коррозии проявляется в осн. металле, в зоне влияния нагревов, на нек-ром расстоянии от сварного шва, где создаются благоприятные условия для образования карбидов хрома (нагрев до 450—850°). Установлено, что с повышением содержания в стали углерода чувствительность к межкристаллитной коррозии хромоникелевых сталей резко возрастает, она зависит также от темп-ры и времени отпуска. Наибольшая чувствительность к межкристаллитной коррозии аустенитных хромоникелевых сталей проявляется после отпуска при темп-ре 650°. Существенное значение для межкристаллитной коррозии имеет и величина зерна; установлено, что чем меньше величина зерна, тем меньше чувствительность нержавеющей сталей к межкристаллитной коррозии. Чувствительность к межкристаллитной коррозии ферритных сталей также повышается с увеличением содержания углерода. Однако наибольшая чувствительность проявляется, в противоположность аустенитным сталям, после закалки или нормализации с высоких темп-р вследствие образования при охлаждении из пересыщенного твердого раствора а неравновесных железосодержащих карбидов и нитридов хрома.

В этих случаях также наблюдается обеднение хромом и усиление внутр. напряжений границ зерен. С применением высокого отпуска и в особенности отжига при 780—850° вследствие диффузии происходит выравнивание концентрации хрома по зерну и чувствительность стали к коррозии устраняется.

Для выявления склонности нержавеющей сталей к межкристаллитной коррозии наиболее быстрое испытание может быть проведено в растворах, где стационарный потенциал нержавеющей стали находится между потенциалом пассивации зерна и потенциалом пассивации границ зерна, что регулируется окислительно-восстановит. потенциалом среды. Согласно ГОСТ 6032—58, ускоренные испытания на межкристаллитную коррозию аустенитных нержавеющей сталей проводятся после провоцирующего отпуска при 650° в течение 2 час. В зависимости от состава сталей и их назначения применяется неск. методов ускоренных испытаний.

Для борьбы с межкристаллитной коррозией применяются след. эффективные методы: 1) Снижение содержания углерода, вследствие чего уменьшается карбидообразование по границам зерен. Обычно нержавеющей стали и ферритные стали, содержащие менее 0,03% углерода, нечувствительны к межкристаллитной коррозии. 2) Применение закалки в воду с высоких темп-р для аустенитных сталей (тот же эффект для мн. сталей достигается и при нормализации с высоких темп-р). При этом карбиды хрома по границам зерен переходят в твердый раствор. 3) Применение стабилизирующего отжига при 750—900°. Вследствие

процесса диффузии происходит выравнивание концентрации хрома как по зерну, так и по границам зерен. Этот способ особенно эффективен для ферритных хромистых сталей. 4) Легирование стали стабилизирующими карбидообразующими элементами — титаном, ниобием, танталом. Титан и ниобий являются более энергичными карбидообразователями, чем хром, при этом карбиды титана и ниобия образуются при более высоких температурах, чем карбиды хрома. Вместо карбидов хрома углерод связывается в карбиды титана или ниобия, а концентрация хрома в твердом растворе сохраняется одинаковой не только по зерну, но и по границам зерен. Содержание титана в нержавеющей аустенитных сталях должно быть в 5 раз, а ниобия в 8—10 раз больше углерода. Добавка титана устраняет также межкристаллитную коррозию ферритных хромистых сталей. 5) Создание двухфазных аустенито-ферритных сталей. Противоположные закономерности в поведении аустенитных и ферритных сталей хорошо сочетаются в аустенито-ферритных сталях, которые нечувствительны к межкристаллитной коррозии.

В некоторых средах обнаружен новый вид интенсивной локальной коррозии сварных швов нержавеющей стали в зоне, непосредственно прилегающей к сварному шву («ножевая» коррозия). Этому виду структурной коррозии подвергаются также стали, стабилизированные титаном или ниобием. Такие явления связаны с высоким нагревом сталей при сварке (выше 1300°), когда карбиды титана или ниобия переходят полностью в твердый раствор. При последующем быстром охлаждении карбиды титана или ниобия не успевают выделиться, однако создаются благоприятные условия для образования карбидов хрома в непосредственной близости к сварному шву, вследствие чего возникают зоны, обедненные хромом; в этих зонах увеличиваются также внутр. напряжения. Все это приводит к быстрому разрушению стали в зоне, непосредственно прилегающей к сварному шву вследствие перехода ее в активное состояние. «Ножевая» коррозия проявляется также и в состоянии перепассивации в сильноокислительных средах. По своей природе механизм «ножевой» коррозии аналогичен межкристаллитной коррозии. Основными методами борьбы с «ножевой» коррозией являются: снижение содержания в стали углерода, стабилизирующий отжиг, увеличение содержания титана или ниобия против расчетного, применение двухфазных аустенито-ферритных сталей, изменение режима сварки с исключением воздействия критической температуры в пришовной области.

К коррозии под напряжением наиболее склонны мартенситные нержавеющей стали, обладающие высокой прочностью, а также (в некоторых средах) аустенитные нержавеющей стали, хотя они и обладают высокой пластичностью. Легирование титаном или ниобием не устраняет склонности к коррозии под напряжением аустенитных сталей. Коррозия под напряжением нержавеющей сталей связана с образованием надразов вследствие избирательного растворения границ зерен, блочных структур и др. неоднородных участков стали, в которых концентрируются напряжения и резко снижается анодная поляризуемость. При этом возникает большая разница в скоростях растворения основного металла, находящегося в пассивном состоянии, и металла в надразе, находящегося в активном состоянии. По окончании т. н. инкубационного периода вследствие интенсивной линейной коррозии в надразе уменьшается рабочее сечение деталей. При этом прочность металла становится ниже приложенного напряжения, в связи с чем происходит спонтанное развитие трещины и разрушение детали. Чувствительность нержавеющей сталей к коррозии под напряжением определяется в кипящем 42% -ном растворе хлористого магния, в котором разрушение многих сталей может происходить под влиянием внутр. напряжений. Установлено, что коррозия под напряжением аустенитных нержавеющей сталей сильно зависит от содержания никеля. Наивысшая чувствительность к коррозии под напряжением проявляется при содержании в стали никеля 9—14%, при дальнейшем повышении никеля чувствительность к коррозии под напряжением снижается и при



содержании никеля более 40% сталь становится несклонной к коррозии под напряжением. Уменьшение содержания никеля (менее 9—14%) тоже приводит к резкому увеличению сопротивления коррозионному растрескиванию, что следует связать с образованием двухфазных аустенито-ферритных сталей, отличающихся высоким сопротивлением коррозии под напряжением. Особенно стимулируют коррозию под напряжением активаторы (хлор-ионы и др.), присутствующие в растворе.

Осн. методами борьбы с коррозией под напряжением являются: снижение приложенных напряжений извне; повышение содержания в стали никеля с целью создания стабильного аустенита; создание двухфазной аустенитно-ферритной стали за счет снижения никеля или легирования ферритообразующими элементами; применение термич. обработки (высокий отпуск для мартенситных сталей или стабилизирующий отжиг для аустенитных сталей); создание напряжения сжатия на поверхности сталей, напр. способом дробеструйной обработки; уменьшение концентрации активаторов.

Точечная и язвенная коррозия нержавеющей сталей часто встречается при эксплуатации в морской воде. В ряде случаев она может иметь перфорирующий характер (для листа и ленты). Механизм точечной и язвенной коррозии связан с адсорбцией хлор-ионов на нек-рых участках поверхности стали, вследствие чего происходит локализация коррозии. При этом осн. поверхность стали находится в пассивном состоянии, а участки с адсорбированными хлор-ионами — в активном состоянии; этому способствуют продукты коррозии. Точечная коррозия в присутствии хлор-ионов может быть вызвана пробоем пассивной пленки при высоком потенциале. Точечная и язвенная коррозия может также развиваться вследствие появления различных поверхностных дефектов (включения, интерметаллиды, повреждения пленки и т. п.).

При перемешивании морской воды сопротивление точечной коррозии всех нержавеющей сталей резко возрастает.

Легирование молибденом позволяет резко увеличить потенциал пробоя пассивной пленки в присутствии хлор-ионов и тем самым расширить область пассивности нержавеющей стали в присутствии хлор-ионов. Никель также понижает чувствительность нержавеющей сталей к точечной коррозии.

Для изделий из нержавеющей сталей сложных конструкций, имеющих щели, зазоры, карманы, характерен особый вид коррозии — щелевая коррозия. Механизм щелевой коррозии связан с затруднением диффузии кислорода или др. окислителя (как деполяризатора) или анодных замедлителей коррозии (ингибиторов) в труднодоступные участки конструкции, вследствие чего на этих участках резко снижается анодная поляризация, снижается потенциал стали и нержавеющая сталь переходит в активное состояние.

Методы борьбы с щелевой коррозией сводятся в первую очередь к конструктивным мерам — устранению зазоров, щелей, карманов, контактов стали с неметаллич. материалами. Весьма эффективно также увеличение концентрации окислителя или анодных замедлителей, если они присутствуют в растворе.

Методы повышения коррозионной стойкости. Коррозионная стойкость нержавеющей сталей может быть в значит. степени повышена методами легирования, применения оптимальных режимов термич. обработки, соответствующей механич., химич. и электрохимич. обработки, применения анодной защиты. Наиболее эффективным является увеличение содержания хрома. С повышением его содержания расширяется область пассивного состояния нержавеющей сталей, т. к. в значит. степени снижаются потенциал и ток пассивации. При



высоком содержании хрома нержавеющие стали устойчивы даже в слабоокислительных средах. Коррозионная стойкость нержавеющих сталей резко повышается при снижении содержания углерода, что особенно важно для борьбы со структурной коррозией и повышения коррозионной стойкости стали после высокого отпуска. Значительно повышается коррозионная стойкость нержавеющих сталей, особенно в слабоокислительных средах, при введении никеля, молибдена и меди. При этом, с одной стороны, повышается термодинамическая устойчивость сталей, а с другой — повышается их пассивируемость и защитные свойства пассивных пленок. Исключительно эффективно влияние титана, ниобия, тантала как карбидообразователей для борьбы с межкристаллитной коррозией.

Коррозионная стойкость нержавеющей стали мартенситного и аустенитного классов резко снижается после высокого отпуска. Наибольшую коррозионную стойкость стали мартенситного, мартенсито-ферритного и мартенсито-карбидного классов приобретают после закалки и низкого отпуска, а стали аустенитного и аустенито-ферритного класса после закалки в воду. При нагревах происходит распад твердого раствора  $\alpha$  и  $\gamma$  с образованием карбидов хрома в аустенитных сталях и ряда промежуточных структур в мартенситных сталях (троостит, сорбит, перлит). Если отпущенные аустенитные и мартенситные стали подвергать стабилизирующему отжигу при  $780\text{—}900^\circ$ , то скорость их коррозии понижается.

Коррозионная стойкость нержавеющих сталей определяется защитными свойствами поверхностной пассивной пленки, которые сильно зависят от состава стали и качества обработки поверхности. Как правило, нержавеющие стали с грубо обработанной поверхностью характеризуются пониженной коррозионной стойкостью. Наибольшая коррозионная стойкость в атмосферных условиях достигается в полированном состоянии. В целях повышения защитных свойств поверхностной пленки нержавеющие стали после механической обработки, в т. ч. и механического полирования, подвергают химической пассивации. В этом случае создается более совершенная пассивная пленка и удаляются следы железа, занесенные при обработке инструментом (следы железа на поверхности нержавеющих сталей становятся очагом коррозии). Пассивация производится в 20%-ном растворе  $\text{HNO}_3$  при  $45\text{—}55^\circ$  в течение 16—30 мин., можно проводить пассивацию в 40%-ном растворе  $\text{HNO}_3$  при комнатной температуре. Пассивация мартенситных сталей производится в растворе, содержащем 20%  $\text{HNO}_3$  и 2%  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  при  $45\text{—}55^\circ$  в течение 15—30 мин. Пассивация нержавеющих сталей может проводиться и в других растворах, содержащих окислители.

С защитной целью для деталей небольших габаритов применяют электрополировку. Состав ванн и режим электрополировки зависят от состава и структуры нержавеющих сталей. В этом случае дополнит, химическая пассивация не проводится, т. к. пассивная пленка образуется в процессе электрополировки.

В соответствии с теорией пассивности после перехода металла в пассивное состояние требуется очень незначительный ток для поддержания стали в пассивном состоянии. Поэтому в ряде случаев, напр. в химических аппаратах, может быть использован эффект анодной защиты; так, сталь  $\text{X18H9}$ , подверженная коррозии в серной кислоте, особенно при повышенных температурах, может быть защищена путем анодной поляризации. Для перевода нержавеющей стали в пассивное состояние вначале требуется значительная плотность тока, однако после того как сталь будет переведена в пассивное состояние, требуется всего неск.  $\text{мкА/см}^2$  для поддержания пассивного состояния.

Газовая коррозия нержавеющих сталей и методы борьбы с ней. Нержавеющие стали при нагревании на воздухе или в среде кислорода подвергаются окислению с образованием окисной пленки.

Добавки вольфрама и молибдена повышают жаропрочность, но ухудшают жаростойкость нержавеющей сталей. Добавки кобальта не снижают жаростойкости. Легирование хромом значительно повышает коррозионную стойкость сталей в сероводороде.

Коррозия нержавеющей сталей в расплавленных металлах и гидроокисях. Характер взаимодействия жидких металлов с нержавеющей сталями не подчиняется общим закономерностям поведения их в водных растворах. Среди расплавленных металлов жидкий натрий, калий и их сплавы являются наименее активными в коррозионном отношении. Установлено, что до 650° и при перепаде темп-р не более 150° успешно могут использоваться аустенитные хромоникелевые стали с низким содержанием углерода; при этом содержание примесей кислорода не должно превышать 0,01—0,02%. При более высоком содержании примесей кислорода происходит охрупчивание аустенитных нержавеющей сталей уже при 350°. В целях борьбы с эрозией скорость движения расплавленного натрия, калия и их сплавов не рекомендуется превышать 8 м/сек. Требуется также высокая чистота жидкого металла по углероду, в противном случае будет происходить науглероживание нержавеющей сталей вследствие взаимодействия его с карбидообразующими элементами, находящимися в стали (хром, ниобий и др.). Выше 650° в жидком натрии, калии и их сплавах наблюдается селективное растворение никеля в нержавеющей сталях и перенос его на холодные участки коммуникаций. Расплавленный литий является более агрессивным по отношению к нержавеющей сталям, особенно выше 760°. Выщелачивание никеля в расплавленном литии происходит гораздо интенсивнее, при этом поверхностный слой аустенитной стали превращается в феррит, поэтому для расплавленного лития при высоких температурах рекомендуются высокохромистые ферритные нержавеющей стали. Расплавленный литий взаимодействует с карбидами металлов. Исключительно агрессивным действием характеризуется нитрид лития Li<sub>3</sub>N, в связи с чем должны быть высокие требования к расплавленному литию по примесям азота. При более низких температурах и небольших перепадах температур в расплавленном литии могут применяться и хромоникелевые аустенитные нержавеющей стали. Борьба с кислородом в расплавленных металлах проводится путем введения небольших количеств кальция, бериллия, магния, циркония, титана и др. легко окисляющихся металлов, которые связывают кислород. Установлено, что аустенитные стали более чувствительны к примесям кислорода, чем ферритные нержавеющей стали. Весьма агрессивным действием характеризуются расплавленный висмут, свинец и их сплавы, сплавы висмута с индием и свинцом. В этих средах также более стойкими являются высокохромистые ферритные нержавеющей стали. Из расплавленных гидроокисей наиболее коррозионно-активным является гидроокись натрия. Гидроокиси калия, лития, стронция, бария в коррозионном отношении менее активны.

### **Коррозионная стойкость проточной части насосов из сталей**

- Л-чугун ЧС-15;
- К-нержавеющая сталь 12Х18Н9ТЛ;
- Е-нержавеющая сталь 12Х18Н12МЗТЛ;
- И-нержавеющая сталь 07ХН25МДТЛ;
- Т-титановый сплав ТЛЗ или ВТ-5Л;
- Д-чугун ЧХ-28;
- П-стеклонаполненный полипропилен ПП030-СВ30;
- А-углеродистая сталь марки 25Л



Химические реагенты	Концентрация, [%]	Температура, [°C]	Х-Л	Х-К	Х-Е	Х-И	Х-Т	Х-Д
Азотная кислота	1-80	20	В,С	В,С	В,С	В,С	В,С	В,С
	90	20	С	С	С	С	С	С
	1-80	60	О,С	В,С	В,С	В,С	В,С	С
	1-40	Кипения	С	С	С	С	В,С	О,С
	50-80	Кипения	О,С	О,С	О,С	О,С	С	-
Серная кислота	0,1-1;2;3;5	30	В,С	С	В,С	В,С	С	-
	10	30	В,С	О,С	С	В,С	-	-
	20-50	30	В,С	-	С	В,С	-	-
	60-70	30	В,С	-	О,С	В,С	С	С
	80-90	30	В,С	С	В,С	В,С	С	С
	3;5	50	С	-	В,С	В,С	С	-
	0,1-0,5	50	С	-	С	В,С	В,С	-
	1,2	50	С	О,С	В,С	В,С	С	-
	10	50	С	-	О,С	В,С	-	-
	20-80	50-70	С	-	-	С	-	-
	0,5-3	80	С	-	О,С	С	-	-
	85-98	85	С	О,С	С	С	О,С	С
	5-10	75	-	-	-	С	-	-
	85-98	100	-	-	-	О,С	-	-
Фосфорная кислота	1-90	20-50	В,С	В,С	В,С	В,С	-	С
	1-50	85	С	С	В,С	В,С	-	С
	60-90	85	С	О,С	С	С	-	С
	1-50	100	С	О,С	О,С	С	-	С
	60-80	100	С	-	О,С	С	-	-
	Свыше 85	100	С	-	-	С	-	-
Соляная кислота	0,2-0,5	20-50	В,С	О,С	В,С	В,С	В,С	-
	1-3	20	С	-	В,С	В,С	С	-
	1-3	60	С	-	-	О,С	О,С	-
	5	20	С	-	С	В,С	С	-
	5	60	-	-	-	О,С	-	-
	10	20	С	-	О,С	О,С	О,С	-
	10	60	-	-	-	О,С	-	-
	20-37	20	О,С	-	-	О,С	-	-
20-37	60	-	-	-	-	-	-	
Щавелевая кислота	0,5-10	20	В,С	В,С	В,С	В,С	С	В,С
	0,5-10	50	С	О,С	В,С	В,С	-	О,С
	10-80	80	С	-	О,С	-	-	-
Уксусная кислота	1-80	20-80	В,С	В,С	В,С	В,С	С	В,С
	1-80	Свыше 80	С	О,С	С	В,С	В,С	С
Смесь серной и уксусной кислоты	2+25	80	С	О,С	О,С	С	-	-
	10+90	20	В,С	С	В,С	В,С	-	-
Едкий натр	10-90	20-90	С	В,С	В,С	В,С	В,С	С
	10-90	100-120	О,С	О,С	С	В,С	С	О,С
Известь хлорная	Насыщенный	40	С	О,С	С	С	В,С	С
Смесь азотной и серной кислоты	50+50	60	В,С	В,С	В,С	В,С	С	-
		95	-	О,С	О,С	С	-	-
	50+10	85	-	О,С	В,С	В,С	С	-





	25+70	60	В,С	В,С	В,С	В,С	О,С	-
		95	-	С	С	В,С	-	-
	25+2	40	В,С	В,С	В,С	В,С	С	-
Смесь фосфорной и серной кислоты		1+30	20	В,С	С	В,С	В,С	-
	2+40	80	С	-	С	С	-	-
Железо хлорное	1	20	С	С	С	С	В,С	С
	5-75	20	-	-	-	О,С	В,С	-
Хромовая кислота	13	90					В,С	
Винная кислота	10-50	35-90					С	
Царская вода	100	20					В,С	

Скорость коррозии [мм/год]:

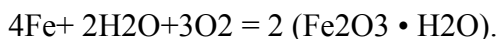
- В,С-весьма стойкие от 0,0001 до 0,01
- С-стойкие от 0,01 до 0,1
- О,С-относительно стойкие от 0,1 до 1,0

Давление на входе: не более 0,35 МПа при сальниковом уплотнении, 0,8 МПа при торцовом уплотнении.

## ЖЕЛЕЗО

Углеродистая сталь и ковкое железо.

В присутствии воды и кислорода быстро подвергается коррозии:



Ржавчина покрывает металл рыхлым слоем, поэтому не предохраняет его от дальнейшей коррозии вплоть до полного разрушения. Растворы солей, как правило, вызывают более сильную коррозию, чем чистая вода. Небольшие количества  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , присутствующие в воздухе лабораторий, в значительной степени ускоряют коррозию. Неустойчивы к действию большинства разбавленных кислот. В разбавленных растворах  $\text{HCl}$  растворение железа идет интенсивно. Азотная кислота с концентрацией выше 50% пассивирует металл, однако защитный слой оксида хрупок, и пассивное состояние легко нарушается. Железо вполне устойчиво к действию дымящей  $\text{HNO}_3$ . Серная кислота пассивирует Железо при концентрации выше 70%, при нагревании стали марки Ст3 в 90%-й  $\text{H}_2\text{SO}_4$  при 40 °С скорость коррозии составляет 0,14 мм/год; при 90 °С скорость коррозии увеличивается в 10 раз; 50%-я  $\text{H}_2\text{SO}_4$  очень активно растворяет железо. Фосфорная кислота в отношении железа не агрессивна. В безводных органических растворителях Железо практически не корродирует, устойчиво к действию растворов щелочей, водного аммиака, сухих  $\text{Cl}_2$  и  $\text{Br}_2$ . Хорошими ингибиторами коррозии являются хромовокислый натрий (в виде добавки к воде в количестве 0,1%), гексаметафосфат натрия. Ион  $\text{Cl}^-$ , напротив, способствует снятию с металла защитной пленки и усилению коррозии. Технически чистое Железо с массовым содержанием примесей около 0,16% обладает высокой коррозионной стойкостью.

**Низколегированные и среднелегированные стали.** Подобны простым углеродистым сталям, но небольшие легирующие добавки меди, никеля или хрома могут повышать устойчивость к атмосферной и водной коррозии. С повышением количества хрома повышается

стойкость к окислению. Однако стали с содержанием хрома менее 12% в основном не рекомендуется использовать при контакте с химически активными средами.

### **Высоколегированные стали (содержание легирующих элементов более 10%).**

Стали с содержанием хрома 12—18% устойчивы при контакте с пищевыми продуктами, большинством органических кислот, азотной кислотой, сильными щелочами, большинством растворов солей. Скорость коррозии в 25%-й муравьиной кислоте составляет около 2 мм/год. Эта группа сталей неустойчива к действию сильных восстановителей, соляной кислоты, хлоридов и галогенов.

Нержавеющие стали с содержанием 17—19% хрома и 8—11% никеля более устойчивы по сравнению с обычными высокохромистыми сталями. Они исключительно стойки в окислительных средах, в том числе кислых (азотной, хромовой и т. д.) и сильно щелочных. Добавка никеля повышает устойчивость к некоторым неокислительным средам. Они превосходно устойчивы к действию атмосферных факторов. Однако в кислых восстановительных средах, и особенно в кислых, содержащих ионы галогенов, пассивирующий слой оксидов разрушается и нержавеющие стали теряют свою кислотоустойчивость.

Нержавеющие стали с добавкой 1—4% молибдена. Их общая коррозионная стойкость выше, чем у хромоникелевых сталей. Введение молибдена повышает устойчивость к серной, сернистой, органическим кислотам, галогенидам и морской воде.

Железкремнистое литье (сплавы железа с 13—17% Si, ферросилиций). Коррозионная стойкость определяется образованием пленки SiO<sub>2</sub>, поэтому окислительные среды (азотная, серная, хромовая кислоты) лишь усиливают защитные свойства пленки. Соляная кислота вызывает коррозию ферросилиция.

## **НИКЕЛЬ И ЕГО СПЛАВЫ**

Устойчив к атмосферным факторам, в том числе к атмосфере химических лабораторий, воде, даже соленой, нейтральным и щелочным солям — хлоридам, карбонатам, сульфатам, нитратам, ацетатам. Достаточно устойчив к органическим кислотам, если только они не горячие и не насыщены кислородом. Устойчив к кипящим концентрированным щелочам (КОН до 60%). Подвержен воздействию окислительных или восстановительных сред, окислительных солей (кислых или щелочных), окислительных кислот, например азотной, влажных газообразных галогенов, оксидов азота, диоксида серы.

Монельметалл (70% Ni, 30% Си) по сравнению с никелем более устойчив к кислотам, хотя и не выдерживает действия кислот с сильными окислительными свойствами. Обладает сравнительно хорошей устойчивостью к органическим кислотам, к большинству растворов солей. Не подвержен атмосферной и водной коррозии, устойчив к действию фтора. Монельметалл подобно платине выдерживает HF в концентрации 40% при кипении.

## **АЛЮМИНИЙ И ЕГО СПЛАВЫ**

Благодаря защитной окисной пленке стойки к окислительным средам, в том числе к фтору, уксусной кислоте и большинству органических жидкостей, к атмосферной коррозии. Алюминий с содержанием примесей не более 0,5% обладает высокой стойкостью к действию H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Сильные восстановительные среды и едкие щелочи разрушают алюминий. Алюминий устойчив к действию разбавленной серной кислоты и олеума, но не стоек к серной кислоте

средней концентрации. Такая же картина и в отношении горячей азотной кислоты. Соляная кислота разрушает защитную пленку. При соприкосновении с ртутью или ее солями алюминий быстро разрушается. Чем чище алюминий, тем меньше он подвержен коррозии. Дюралюминий (сплав с 3,5—5,5% Си, 0,5% Мг и 0,5—1% Мп) менее коррозионностоек. Силумин (11 — 14% Si) имеет высокие антикоррозионные свойства.

## МЕДЬ И ЕЕ СПЛАВЫ

Отличаются стойкостью к атмосферной и водной коррозии, включая морскую воду. Устойчивы к растворам едких щелочей при комнатной температуре, горячим разбавленным щелочам, сухому  $\text{NH}_3$ , нейтральным солям, сухим газам и к большинству органических растворителей. Сплавы с высоким содержанием меди (бронзы) устойчивы ко многим кислотам, включая горячую разбавленную и холодную концентрированную  $\text{H}_2\text{SO}_4$  как разбавленную, так и концентрированную  $\text{HCl}$  без нагревания. Контакт с органическими кислотами в отсутствие кислорода не вызывает разрушения меди. Медь не поддается воздействию  $\text{F}_2$  и сухого  $\text{HF}$ . Медь и ее сплавы подвержены действию окисляющих кислот и неокисляющих кислот в присутствии кислорода, влажного  $\text{NH}_3$ , некоторых кислых солей, таких влажных газов, как ацетилен,  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}_2$ . Медь легко амальгамируется. Цинк-медные сплавы (латуни) в основном не отличаются высокой коррозионной стойкостью.

## ЦИНК

Устойчив в сухом и влажном воздухе, в чистой воде. В воде с содержанием  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$  или солей подвержен коррозии. Сильно корродирует в атмосфере лаборатории. щелочи растворяют цинк, в  $\text{HNO}_3$  он растворяется быстро, в  $\text{HCl}$  и  $\text{H}_2\text{SO}_4$  — тем медленнее, чем чище цинк. Не взаимодействует с органическими растворителями, нефтепродуктами, однако при длительном контакте, например с крекинг-бензином, происходит коррозия за счет постепенного повышения кислотности бензина при его окислении воздухом.

## СВИНЕЦ

Отличается устойчивостью к атмосферной и водной коррозии, устойчив при контакте с почвой, хотя заметно растворяется в воде, содержащей высокие концентрации  $\text{CO}_2$ , за счет образования растворимого гидрокарбоната свинца. В основном обладает хорошей стойкостью по отношению к нейтральным растворам, удовлетворительной к щелочным, практически стоек к хромовой, серной, сернистой и фосфорной кислотам. В  $\text{H}_2\text{SO}_4$  концентрации 98% и выше при комнатной температуре свинец растворяется очень медленно; 48%-я  $\text{HF}$  вызывает коррозию при нагревании; заметно действуют на свинец  $\text{HCl}$ ,  $\text{HNO}_3$ , а также уксусная и муравьиная кислоты. При взаимодействии с  $\text{HCl}$  свинец покрывается слоем труднорастворимого  $\text{PbCl}_2$ , который препятствует дальнейшему растворению металла. Азотнокислый свинец, образующийся при действии азотной кислоты, нерастворим в концентрированной  $\text{HNO}_3$ , но растворим в разбавленной, поэтому разбавленная  $\text{HNO}_3$  более агрессивна по отношению к свинцу, чем концентрированная. Растворы нитратов агрессивны по отношению к свинцу, а хлориды, сульфаты и карбонаты — нет.

## ТИТАН

Обладает превосходной коррозионной стойкостью. Устойчив к действию  $\text{FeCl}_3$ , растворов солей, в том числе сильных окислителей. Легко подвергается действию более



концентрированных минеральных кислот, но выдерживает кипящую  $\text{HNO}_3$  до концентрации 65% и  $\text{H}_2\text{SO}_4$  и  $\text{HCl}$  ниже 5%. Проявляет хорошую устойчивость к органическим кислотам, щелочам и щелочным солям.

## ЦИРКОНИЙ

Используется при необходимости высокой химической стойкости к большинству кислот и щелочей. Устойчив при контакте с  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Подвержен действию некоторых хлоридов, кипящей концентрированной  $\text{HCl}$ , царской водки, дымящей азотной и горячей концентрированной серной кислот. По отношению к соляной и серной кислоте цирконий устойчивее титана, а по отношению к влажному хлору и царской водке — наоборот. Практически важное свойство металлического циркония — гидрофобность его поверхности, он не смачивается водой и водными растворами.

## ТАНТАЛ

Отличается превосходной химической стойкостью, подобно стеклу, что обусловлено наличием плотной оксидной пленки. При температуре ниже  $150\text{ }^\circ\text{C}$  на него практически не действуют  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{Br}_2$ ,  $\text{I}_2$ . Устойчив к большинству кислот при комнатной температуре, в том числе к азотной кислоте, царской водке. На него почти не оказывают действия Растворы щелочей. На тантал действует  $\text{HF}$  горячие концентрированные Растворы щелочей, он растворяется в расплавах щелочей.