

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева»

Кафедра энергоресурсосберегающих процессов
в химической и нефтегазовой технологиях

Составитель Е. Ю. Старикова

ЛЕГИРОВАННЫЕ СТАЛИ

Методические указания к лабораторной работе
по дисциплине «**Защита металлов от коррозии**» для студентов
направления подготовки 18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие
процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

Рекомендовано учебно-методической комиссией направления подготовки
бакалавров 18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы
в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии
в качестве электронного издания
для использования в образовательном процессе

Кемерово 2026

Рецензент:

Михайлов Г. С. – доцент кафедры энергоресурсосберегающих процессов в химической и нефтегазовой технологиях.

Старикова Елена Юрьевна

Легированные стали : методические указания к лабораторной работе по дисциплине «**Защита металлов от коррозии**» направления подготовки бакалавров 18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии / Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева ; кафедра энергоресурсосберегающих процессов в химической и нефтегазовой технологиях ; составитель Е. Ю. Старикова. – Кемерово : КузГТУ, 2026. – 1 файл (694 Кб). – Текст : электронный.

Составлены с целью оказания методической помощи при выполнении лабораторной работы по дисциплине «Защита металлов от коррозии». Содержат теоретические положения, методику выполнения работы и контрольные вопросы. Приведен список литературы.

© Кузбасский государственный
технический университет
имени Т. Ф. Горбачева, 2026
© Старикова Е. Ю., составление,
2026

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Цель настоящей работы – изучение принципов легирования, свойств, коррозионной стойкости, применения конструкционных легированных сталей.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Легированной (от латинского *ligo*- соединяю, связываю) называется сталь, в которой кроме обычных примесей содержатся специально вводимые в определенных сочетаниях легирующие элементы.

Как правило, лучшие свойства обеспечивает комплексное легирование.

Легирование сталей и сплавов используют для улучшения их технологических свойств – повышения предела текучести, ударной вязкости, относительного сужения и прокаливаемости, а также существенного снижения скорости закалки, порога хладноломкости, деформируемости изделий и возможности образования трещин. В изделиях крупных сечений (диаметром свыше 15...20 мм) механические свойства легированных сталей значительно выше, чем углеродистых.

Легирующие элементы по механизму их воздействия на свойства сплавов можно разделить на три группы:

- 1) влияние на полиморфные ($\alpha\text{-Fe} \rightarrow \gamma\text{-Fe}$) превращения;
- 2) образование с углеродом карбидов;
- 3) образование интерметаллидов с железом (химическое соединение двух или более металлов, обладают, как правило, высокой твёрдостью и высокой химической стойкостью, очень часто имеют более высокую температуру плавления, чем исходные металлы, почти все хрупки, так как связь между атомами в решётке становится ковалентной или ионной).

По характеру влияния на полиморфные превращения легирующие элементы можно разделить на две группы:

элементы (Cr, W, Mo, V, Si, Al и др.), достаточное содержание которых обеспечивает существование в сталях при всех температурах легированного феррита (ферритные сплавы);

элементы (Ni, Mn и др.), стабилизирующие при достаточной концентрации легированный аустенит при всех температурах (аустенитные сплавы).

Карбидообразующие элементы при малом их содержании растворяются в цементите, замещая в нем атомы железа. При повышении содержания карбидообразующих элементов могут образовываться самостоятельные карбиды.

Интерметаллиды образуются при высоком содержании легирующих элементов между этими элементами или с железом. Интерметаллиды отличаются высокой твердостью и хрупкостью.

В табл. 1 показано влияние наиболее широко используемых легирующих элементов на свойства стали.

Таблица 1

Влияние легирующих элементов на свойства стали

Легирующий элемент	Входит в твердый раствор с Fe и упрочняет его	Увеличивает ударную вязкость	Расширяет область аустенита	Сужает область аустенита	Увеличивает прокаливаемость	Способствует раскислению	Образует устойчивые карбиды	Повышает сопротивление коррозии
Ni	+	+	+	-	+	-	-	+
Cr	+	-	-	+	-	-	+	+
Mn	+	+	+	-	+	+	+	+
Si	+	+	-	+	-	+	-	-
W	-	-	-	-	-	-	+	-
Cu	+	-	-	-	-	-	-	+

Легированные стали в зависимости от введенных элементов подразделяют на хромистые, марганцовистые, хромоникелевые и др.

Несмотря на большое значение в технике сплавов цветных металлов, наиболее широкое применение среди коррозионностойких имеют сплавы на основе железа – нержавеющие, мало-, средне- и высоколегированные стали. Наиболее изученными являются сплавы железа с хромом и железа с хромом и никелем. Их классификация по химическому составу определяется суммарным процентом содержания легирующих элементов:

- низколегированные – менее 5 %
- среднелегированные – 5...10 %
- высоколегированные – более 10 %.

При маркировке легированных сталей используют буквенные обозначения легирующих элементов (табл. 2). Эти буквы в сочетании

Таблица 2

Обозначение легирующих элементов в легированных сталях

Элемент	Символ	Обозначение	Элемент	Символ	Обозначение
Никель	Ni	Н	Титан	Ti	Т
Хром	Cr	Х	Ванадий	V	Ф
Кремний	Si	С	Ниобий	Nb	Б
Марганец	Mn	Г	Тантал	Ta	Та
Молибден	Mo	М	Цирконий	Zr	Ц
Алюминий	Al	Ю	Бор	B	Р
Медь	Cu	Д	Азот	N	А
Кобальт	Co	К	Фосфор	P	П
Вольфрам	W	В	Бериллий	Be	Л

с цифрами используют в обозначении марки стали. Среднее содержание легирующего элемента, если оно превышает 1,5 %, указывается числом, стоящим после соответствующей буквы. Если число за буквой отсутствует, то содержание данного элемента менее 1,5 %. Число, стоящее в марке слева до букв, указывает на среднее содержание углерода в сотых долях процента. Если в начале марки нет цифр, то это означает, что количество углерода составляет 1 % и выше.

Выбор конструкционных материалов для изготовления аппаратуры и оборудования химических производств определяется рядом факторов, которые можно разделить на две группы: а) зависящие от внешних рабочих условий, б) связанные со свойствами данного материала.

К факторам первой группы относятся температура, давление и свойства среды. Температура влияет на механические свойства материала. При повышении температуры ухудшаются механические свойства металлов. Например, при температуре выше 500 °С механические свойства углеродистых сталей настолько снижаются, что применение их становится нерациональным. Механические свойства легированных сталей при повышении температуры ухудшаются менее резко, поэтому их используют в этих условиях. Увеличение давления обычно приводит к интенсификации коррозии. При выборе материала

лов необходимо учитывать коррозионное и эрозионное воздействие среды.

Ко второй группе факторов относятся физико-механические и технологические свойства материалов. Наиболее важными характеристиками механических свойств при выборе материалов являются предел прочности или временное сопротивление σ_B , предел текучести σ_T , относительное удлинение δ , относительное сужение ψ , модуль упругости при растяжении E .

Важным фактором для оценки свойств сталей при их выборе для работы в области высоких температур является стабильность структуры. Нарушение стабильности структуры заключается в склонности некоторых сталей к графитизации, межкристаллитной коррозии и тепловой хрупкости.

Рассмотрим основные марки нержавеющей сталей: хромистые и хромоникелевые. **Хромистые стали.** Коррозионная стойкость хромистых сталей в значительной степени объясняется созданием на поверхности защитного слоя, возникающего в результате пассивации сплава. Свойство пассивироваться у этих сталей обусловлено хромом. Небольшие количества хрома не оказывают существенного влияния на коррозионную стойкость Fe-Cr сплавов. Сплав пассивируется при содержании хрома 12÷13 %.

Сплавы с содержанием хрома 13÷17 % (08X13, 08X17) устойчивы в растворе HNO_3 любой концентрации при 20 °С, и не пригодны при температуре кипения. В последних пригодны стали 15X25, 15X28. Стойки в концентрированных растворах H_2SO_4 , H_2O_2 , растворах азотнокислых солей, аммиака. Таким образом, хромистые стали стойки в тех средах, в которых они пассивируются и в которых не разрушается их защитная пленка. В соляной кислоте, разбавленных растворах H_2SO_4 , растворах хлористых солей не стойки, так как не образуют защитных пленок. Для снижения склонности к межкристаллитной коррозии вводятся небольшие добавки Ti.

Хромоникелевые стали обладают высокими механическими и технологическими свойствами (08X18H10T). Никель повышает пластичность стали, способствует образованию мелкозернистого строения. Наряду с высокими механическими и технологическими свойствами, Cr-Ni стали подвержены межкристаллитной коррозии, в связи с этим ограничивается их применение для сварных конструкций. Для того чтобы связать углерод стали в карбиды титана, устраняя таким образом возможность образования карбидов хрома, и, следовательно,

уменьшить возможность межкристаллитной коррозии, нужно ввести в сталь такое количество Ti, чтобы его содержание не менее чем в 5 раз превышало содержание углерода. Помимо межкристаллитной коррозии, Cr-Ni стали подвержены и точечной коррозии, которая вызывается местным нарушением пассивной пленки в результате образования микроэлементов.

Эти стали стойки в HNO_3 до 8 % и до 70 °С. В H_2SO_4 и HCl не устойчивы. В H_3PO_4 стойки до 100 °С и до 60 %. Органические кислоты при 20 °С не действуют. Стойки в растворах солей, щелочей при любых температурах.

Хромоникельмолибденовые стали (08X18H12M2T, 08X23H23M3ДЗ). Для повышения стойкости в неокислительных средах в качестве легирующих добавок вводят Ni, Cu, Mo, Si. Характерной особенностью молибдена является склонность к пассивации в окислительных и восстановительных средах. Они с успехом применяются для изготовления сварной аппаратуры без дополнительной термической обработки сварных конструкций. Стойки в H_2SO_4 , H_2SO_3 , H_3PO_3 , CH_3COOH при повышенных температурах, в NH_4Cl , в щавелевой ($(\text{COOH})_2$), муравьиной (HCOOH) кислотах.

Хромоникельмолибденмедиистые стали (08X23H23M3ДЗ, 08X18H28M3ДЗ). Стойки в растворах H_2SO_4 средних концентраций при повышенных температурах вплоть до температуры кипения.

3. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

3.1. Познакомиться с методическими указаниями и законспектировать основные теоретические положения. Подготовить табл. 6 для оформления отчета.

3.2. По табл. 5 в соответствии с вариантом задания, указанным преподавателем, определить исходные данные для выполнения работы.

3.3. По табл. 3 выбрать все возможные (из предложенных) легированные стали удовлетворительно стойкие (скорость коррозии менее 0,1 мм в год) в заданных агрессивных средах при конкретной концентрации раствора и температуре.

3.4. По табл. 4 определить механические свойства и область применения выбранных сталей и занести значения в отчет (табл. 6).

3.5. По справочнику [6] определить состав стали.

Таблица 3

Коррозионная стойкость металлов и сплавов в агрессивных средах

Водный раствор	Концентрация	Температура, °С	Марка стали	Скорость коррозии, мм/год
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
HNO ₃	до 70 %	20	08X13	0,004
HNO ₃	до 70 %	20–60	08X17	0,004
HNO ₃	до 70 %	20	15X25, 15X28	0,003
HNO ₃	до 70 %	40–80	08X21H5T	0,006
HNO ₃	до 70 %	20	08X18H10T	0,007
HNO ₃	до 70 %	20–85	08X17H13M2T	< 0,1
HNO ₃	до 70 %	20–50	08X23H28M3Д3T	< 0,1
H ₂ SO ₄	до 5 %	20–50	08X17H13M2T	< 0,1
H ₂ SO ₄	до 5 %	20–70	08X23H28M3Д3T	< 0,1
H ₂ SO ₄	до 10 %	20	08X17H13M2T	< 0,1
H ₂ SO ₄	до 10 %	20–80	08X23H28M3Д3T	< 0,1
H ₃ PO ₄	до 90 %	20–40	15X25, 15 X28	< 0,001
H ₃ PO ₄	до 90 %	70	15X25, 15X28	< 0,01
H ₃ PO ₄	до 90 %	20–85	08X21H5T	< 0,1
H ₃ PO ₄	до 90 %	20–85	08X18H10T	< 0,1
H ₃ PO ₄	до 90 %	20–кип	08X23H28M3Д3T	< 0,1
KOH	до 53 %	20	08X13, 08X17, 15X25, 15X28	< 0,1
KOH	до 53 %	20–120	08X21H5T, 08X18H10T	< 0,1
KOH	до 53 %	20–120	08X23H28M3Д3T	< 0,1
KOH	до 53 %	кип	08X23H28M3Д3T	< 0,1
CaCl ₂	до 43 %	20	15X25, 15X28	< 0,1
CaCl ₂	до 43 %	20	08X21H5T	< 0,018
CaCl ₂	до 43 %	100	08X21H5T	0,001–0,024
CaCl ₂	до 43 %	20–50	08X18H10T	< 0,1
CaCl ₂	до 43 %	20	08X23H28M3Д3T	< 0,1
CaCl ₂	до 30 %	90	08X18H10T	0,013
MgCl ₂	до 35 %	20	08X17, 15X25, 15X28	< 0,1
MgCl ₂	до 35 %	20	08X21H5T	< 0,008
MgCl ₂	до 35 %	100	08X21H5T	0,001–0,024
MgCl ₂	до 35 %	кип	08X21H5T	< 0,1
MgCl ₂	до 35 %	85	08X18H10T	< 0,1
MgCl ₂	до 35 %	20	08X18H10T	< 0,1
MgCl ₂	до 35 %	20	08X23H28M3Д3T	< 0,1
CuSO ₄ ·5H ₂ O	до 17,5 %	20	08X13, 08X17	< 0,1
CuSO ₄ ·5H ₂ O	до 17,5 %	20–кип	15X25, 15X28	< 0,1

Водный раствор	Концентрация	Температура, °С	Марка стали	Скорость коррозии, мм/год
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	до 17,5 %	20	08X21H5T	< 0,008
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	до 17,5 %	100	08X21H5T	< 0,003
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	до 17,5 %	кип	08X21H5T	< 0,1
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	до 17,5 %	20–кип	08X18H10T	< 0,1
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	до 17,5 %	100–кип	08X23H28M3Д3Т	< 0,1
NaCl	до 26,4 %	20	08X13, 08X17	0,035
NaCl	до 26,4 %	20	08X21H5T	0,0002
NaCl	до 26,4 %	100	08X21H5T	0,004
NaCl	до 26,4 %	20	08X18H10T	0,001–0,002
NaCl	до 26,4 %	80–100	08X18H10T	0,016
NaCl	до 26,4 %	20	08X17H13M2T	0,002
NaCl	до 26,4 %	80–100	08X17H13M2T	0,002–0,004
NaCl	до 26,4 %	20–кип	08X23H28M3Д3Т	0,1

Таблица 4

Марка стали	Механические свойства			Область применения
	σ_B , МПа	δ , %	НВ	
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
20X13, 08X13	700–950	20–14	270–285	Детали с повышенной пластичностью, подвергающиеся ударным нагрузкам, а также изделия, подвергающиеся действию слабоагрессивных сред, лопатки паровых турбин, клапаны, болты, трубы
12X17	390–440	20–17	126–197	Крепежные детали, валики, втулки и другие детали аппаратов и сосудов, работающих в средах, обладающих окислительными свойствами
X25, X28	400–450	12–29	–	Сварные конструкции, не подвергающиеся действию ударных нагрузок. Аппаратура, детали, трубы пиролизных установок, теплообменники

Марка стали	Механические свойства			Область применения
	σ_B , МПа	δ , %	НВ	
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
12X21H5T	700	16–18	–	Для сварных и паяных конструкций, работающих в агрессивных средах
12X18H10T	500–550	40–60	200–250	Сварные конструкции, работающие в агрессивных средах, детали печной аппаратуры
X17H13M2T	530	50	200	Сварные конструкции, работающие в средах повышенной агрессивности, предназначенные для длительных сроков службы при 600 °С
0X23H28M3Д3T	490–550	35–50	200	Сварные конструкции, работающие при температурах до 80 °С в серной кислоте различных концентраций, за исключением 55%-ной уксусной и фосфорной кислот

Таблица 5

Исходные данные для выполнения лабораторной работы

№ варианта	Раствор	Концентрация, %	Температура, °С
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
1	HNO ₃	30	30
2	HNO ₃	50	80
3	HNO ₃	5	20
4	HNO ₃	10	40
5	H ₂ SO ₄	2	20
6	H ₂ SO ₄	4	40
7	H ₂ SO ₄	8	30
8	H ₂ SO ₄	6	50
9	H ₃ PO ₄	5	70
10	H ₃ PO ₄	90	40
11	H ₃ PO ₄	50	30
12	H ₃ PO ₄	20	20
13	KOH	30	Кип
14	KOH	10	100
15	KOH	20	50

№ варианта	Раствор	Концентрация, %	Температура, °С
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
16	KOH	40	40
17	CaCl ₂	25	90
18	CaCl ₂	10	20
19	CaCl ₂	30	100
20	CaCl ₂	15	50
21	MgCl ₂	5	Кип
22	MgCl ₂	15	100
23	MgCl ₂	20	20
24	MgCl ₂	10	50
25	CuSO ₄ ·5H ₂ O	5	20
26	CuSO ₄ ·5H ₂ O	10	100
27	CuSO ₄ ·5H ₂ O	20	Кип
28	CuSO ₄ ·5H ₂ O	15	50
29	NaCl	5	100
30	NaCl	10	20
31	NaCl	15	80
32	NaCl	8	40

Таблица 6

Оформление отчета

№ варианта, задание	Марка стали	Состав стали	Механические свойства			Область применения
			σ _В , МПа	δ, %	НВ	

Контрольные вопросы

1. Что называется легированием и с какой целью его проводят?
2. Какова классификация легированных сталей по составу?
3. Каково влияние наиболее широко используемых легирующих элементов на свойства стали?
4. Как влияет хром на коррозионные свойства сплавов?
5. Каковы принципы обозначения марок легированных сталей?
6. Каково обозначение в марках легированных сталей основных легирующих компонентов?
7. Какими факторами определяется выбор конструкционных материалов для изготовления аппаратуры и оборудования химических производств?

Список рекомендуемой литературы

1. Солнцев, Ю. П. Технология конструкционных материалов : учебник для студентов втузов / Ю. П. Солнцев, Б. С. Ермаков, В. Ю. Пирайнен; под ред. Ю. П. Солнцева. – Санкт-Петербург : Химиздат , 2006. – 504 с. [http://www.biblioclub.ru/book/102721/_id=51546\(10+ЭР\)](http://www.biblioclub.ru/book/102721/_id=51546(10+ЭР))
2. Ржевская, С. В. Материаловедение / С.В. Ржевская – 4-е изд. – Москва : Логос, 2006. – 424 с. <http://www.biblioclub.ru/book/89943/>
3. Солнцев, Ю. П. Материаловедение. Применение и выбор материалов / Ю. П. Солнцев, Е. И. Борзенко, С. А. Вологжанина. – Санкт-Петербург : Химиздат, 2007. – 200 с. <http://www.biblioclub.ru/book/102722/>
4. Семенова, И. В. Коррозия и защита от коррозии / И. В. Семенова, Г. М. Флорианович, А. В. Хорошилов. – 2-е изд. – Москва : Физматлит, 2010. – 413 с. <http://www.biblioclub.ru/book/68857/>
5. Справочник по конструкционным материалам / под ред. В. Г. Арзамасова. – Москва : Изд-во МГТУ, 2005. – 638 с.
6. Марочник сталей и сплавов : справочник / под ред. А. С. Зубченко. – Москва : Машиностроение, 2003. – 784 с.
7. Коррозия конструкционных материалов. Газы и неорганические кислоты : справочник: в 2-х кн. Кн. 2 / под ред. В. В. Батракова. – Москва : Изд-во Интермет-Инжиниринг, 2000. – 316 с.
8. Воробьева, Г. Я. Коррозионная стойкость материалов в агрессивных средах химических производств. – Москва : Химия, 1975. – 816 с.