

УДК 621.78.019.8:693.554

Алимов В. И., Педан Д. Н.

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА СКЛОННОСТЬ К ОБЩЕЙ КОРРОЗИИ СТАЛЬНЫХ АРМАТУРНЫХ СТЕРЖНЕЙ ИЗ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ

Стальные арматурные стержни широко используются для армирования продолжительно работающих железобетонных конструкций. Несмотря на защитную бетонную оболочку, стержни подвергаются коррозии, а поскольку они выполняют несущие функции, то находятся не только под воздействием сред, но и нагрузок и, таким образом, стержни в работе подвергаются в основном коррозии под напряжением (в зависимости от среды – коррозионному растрескиванию).

В связи с переходом на производство арматурных стержней из непрерывно-литой заготовки [1–4] и складывающимися временными рамками в отношениях «производитель-потребитель» все чаще возникает необходимость оценки склонности арматурных стержней к общей коррозии и, особенно, до их монтажа в железобетон. Задержки на закрытых и открытых складах, промежуточных и монтажных площадках, воздействие реальных внешних сред неоднозначно влияют на общую коррозию арматурных стержней, выражающуюся, прежде всего, в порче товарного вида поверхности из-за явного ржавления. О том, в какой мере эта общая коррозия влияет на дальнейшее поведение арматуры в бетоне, корректной информации нет.

Принципиальные пути защиты металла, в т. ч. арматуры, хорошо известны. Они следуют из общих представлений о металле, разрушающемся под действием окружающей среды, как о коррозионной системе, стремящейся к состоянию с минимальной энергией и заключаются в воздействии на объем металла, либо на приповерхностные слои, либо на поверхность, либо на коррозионноактивную среду.

Целью данной работы являлось изучение влияния различных факторов, связанных с металлом (внутренние факторы) и коррозионно-активной средой (внешние факторы) на склонность к общей коррозии стальной арматуры. Различное структурное состояние в металле арматуры создавали пластической деформацией и термической обработкой.

Арматурные стержни прокатывали в условиях Донецкого металлопрокатного завода из непрерывнолитой заготовки стали, выплавленной в электродуговой печи с графитовыми электродами в условиях Кураховского завода «Электросталь». Разлитую в ковш сталь обрабатывали в установке «печь-ковш» при температуре 1540–1560 °С. Сталь продували аргоном для перемешивания и удаления вредных примесей. На МНЛЗ после кристаллизации сталь подвергали спрейерному охлаждению в три стадии с различными объемом и интенсивностью охлаждения.

Для исследований использовали образцы из стали СтЗпс и СтЗсп, отрезанные от арматурных стержней № 18 и 25 класса А400с соответственно. Химический состав (% масс.) и механические свойства были следующими: для СтЗпс: 0,18 С, 0,46 Мн, 0,05 Si, 0,38 S, 0,11 Р, 0,03 Cr, 0,02 Ni, 0,01 Cu; $\sigma_b = 610 \text{ Н/мм}^2$, $\sigma_T = 508 \text{ Н/мм}^2$, $\delta = 21 \%$; для СтЗсп: 0,16 С, 0,61 Мн, 0,18 Si, 0,020 S, 0,018 Р, 0,06 Cr, 0,09 Ni, 0,25 Cu; $\sigma_b = 533 \text{ Н/мм}^2$, $\sigma_T = 429 \text{ Н/мм}^2$, $\delta = 25 \%$.

Отобранные образцы подвергали горячей деформации. Аустенитизацию осуществляли в трубчатой печи Т-40/600 при температуре 950 °С и выдерживали из расчета 1,5 мин/мм сечения. Далее проводили деформацию на прокатном стане ДУО-100 с гладкими валками с различными степенями деформации. Охлаждали образцы в воде и на воздухе. Испытания на электрохимическую коррозию проводили в 10 %-ом водном растворе H_2SO_4 и в морской

и шахтной воде. Кратковременные испытания в растворе серной кислоты проводили в течение 40 мин., длительные испытания в воде – в течение 30 дней. Устойчивость к коррозии оценивали по объемному и массовому показателям.

В случае упрочнения предварительно нагретых и прокатанных образцов в воде твердость выше (НВ 270), чем после охлаждения на воздухе (НВ 150). При охлаждении в воде образуется структура пакетного мартенсита, а при охлаждении на воздухе – феррито-перлитная структура с зерном феррита № 6–7 по ГОСТ 5639-82.

Испытания образцов на электрохимическую коррозию в 10 %-м водном растворе H_2SO_4 показали, что, чем выше степень деформации, тем меньше показатель коррозии как при охлаждении в воде, так и на воздухе (рис. 1), но при охлаждении в воде он всегда значительно меньше, чем при охлаждении на воздухе.



Рис. 1. Изменение показателя коррозии в зависимости от степени деформации при охлаждении арматуры:

№ 18: а – в воде; б – на воздухе; № 25: в – в воде; г – на воздухе

Показатель коррозии в морской и шахтной воде уменьшается с увеличением степени деформации (рис. 2). В морской воде коррозия протекает быстрее, чем в шахтной, что свидетельствует о ее более высокой агрессивности.



Рис. 2. Зависимость изменения показателя коррозии от степени деформации:

а – в шахтной воде при охлаждении на воздухе; б – в шахтной воде при охлаждении в воде; в – в морской воде при охлаждении на воздухе; г – в морской воде при охлаждении в воде

Проведенные эксперименты дают возможность описать кинетику электрохимической коррозии исследуемой арматуры. Полученные уравнения объема выделившегося водорода при проведении электрохимической коррозии арматуры № 18 и № 25 из стали СтЗпс и СтЗсп класса соответственно А400с в 10 %-ом водном растворе H_2SO_4 приведены в табл. 1.

Таблиця 1

Зависимость объема выделившегося водорода (мл) при электрохимической коррозии арматуры № 28, 25 из стали СтЗпс и СтЗсп класса А400с в 10 %-ом растворе H_2SO_4

Номер арматуры	Степень деформации, %	Среда охлаждения	Зависимость $V_{объем.H_2} = f(\tau)$
18	31	воздух	$-0,01049 + 0,01753 \times (\tau)^{1,5}$
	47,1		$-0,61028 + 0,01799 \times (\tau)^{1,5}$
	50,8		$-0,52036 + 0,01084 \times (\tau)^{1,5}$
	30	вода	$\exp(1,60664 - 215,2041 / (\tau)^{1,5})$
	46,7		$\exp(1,95299 - 350,5029 / (\tau)^{1,5})$
	50,8		$\exp(0,79555 - 219,4612 / (\tau)^{1,5})$
25	28,5	воздух	$-5,4557 + 3,35797 \times \ln(\tau)$
	47,4		$-4,4581 + 1,8667 \times \ln(\tau)$
	54,2		$-6,30618 + 2,2806 \times \ln(\tau)$
	28	вода	$(2,99327 - 59,839 / \tau)^2$
	47,1		$(2,83421 - 36,699 / \tau)^2$
	53,5		$(2,63972 - 67,6414 / \tau)^2$

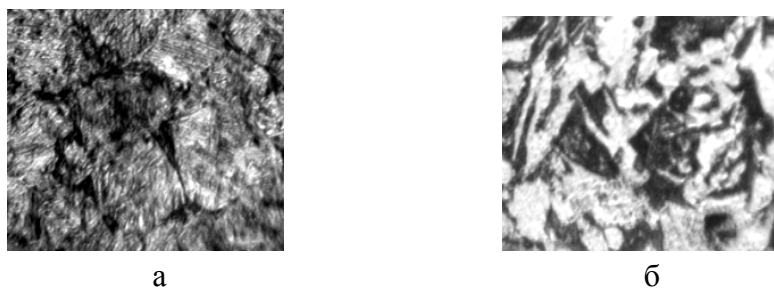
Видно, что зависимости показателя коррозии от времени испытания для случая термоупрочнения арматуры № 18 из стали СтЗпс на воздухе характеризуются степенной зависимостью, для случая термоупрочнения арматуры в воде – экспоненциальной зависимостью, в случае же термоупрочнения арматуры № 25 из стали СтЗсп на воздухе – логарифмической, а при термоупрочнении в воде – обратной линейной зависимостью.

Повышение устойчивости к общей коррозии как в кислых, так и нейтральных средах при повышении степени деформации может быть связано с уменьшением суммарной протяженности границ аустенитных зерен за счет их вытянутости, в результате чего суммарный коррозионный ток, ответственный за коррозионное разрушение, снижается. При одинаковых степенях деформации термическое упрочнение в воде обеспечивает более высокую устойчивость к коррозии из-за образования пакетного мартенсита, более однородного, чем смешанная феррито-перлитная структура, образующаяся при воздушном охлаждении.

Для исследований использовали образцы из стали СтЗсп, отрезанные от арматурного стержня номер 25 класса А400с. Химический состав (% масс.) и механические свойства были следующими: 0,16 С, 0,61 Мн, 0,18 Si, 0,020 S, 0,018 P, 0,06 Cr, 0,09 Ni, 0,25 Cu; $\sigma_B = 533 \text{ Н/мм}^2$, $\sigma_T = 429 \text{ Н/мм}^2$, $\delta = 25 \%$.

Отобранные образцы подвергали термическому упрочнению с отдельного нагрева. Аустенитизацию проводили в трубчатой электрической печи типа Т – 40/600 при температурах 800, 900, 1000 °С и выдерживали из расчета 1,5 мин/мм сечения. Далее образцы охлаждали в воде или на воздухе. Испытания проводили также, как и после горячей деформации.

В случае упрочнения предварительно нагретых образцов в воде твердость их намного выше (НВ 305), чем после охлаждения на воздухе (НВ 165). При охлаждении в воде образуется структура пакетного мартенсита, а при охлаждении на воздухе – феррито-перлитная структура (рис. 3)



а

б

Рис. 3. Микроструктура образцов после термического упрочнения при нагреве до 900 °С после охлаждения:

а – в воде; б – на воздухе, × 250

Испытания образцов на электрохимическую коррозию в 10 %-ом водном растворе H₂SO₄ показали, что, чем выше температура аустенитизации, тем меньше показатель коррозии как при охлаждении в воде, так и на воздухе (рис. 4), но при охлаждении в воде он всегда значительно меньше, чем при охлаждении на воздухе.



Рис. 4. Изменение показателя коррозии в 10%-ом растворе H₂SO₄ в воде в зависимости от температуры нагрева; охлаждение:

а – в воде; б – на воздухе

Показатель коррозии в морской и шахтной воде уменьшается с увеличением температуры аустенитизации (рис. 5). В морской воде коррозия протекает быстрее, чем в шахтной, что свидетельствует о ее более высокой агрессивности.

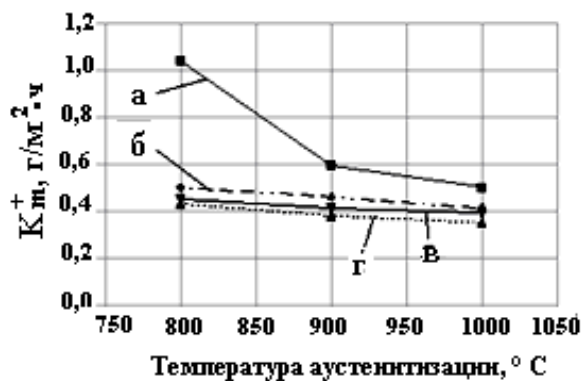


Рис. 5. Изменение показателя коррозии в зависимости от температуры нагрева для образцов: испытание в морской (а, б) и шахтной (в, г) воде; охлаждение образцов:

а, в – воздух; б, г – вода

Повышение устойчивости к общей коррозии как в кислых, так и нейтральных средах при повышении температуры аустенитизации может быть связано с гомогенизацией аустенита и уменьшением суммарной протяженности границ аустенитных зерен, в результате чего суммарный коррозионный ток, ответственный за коррозионное разрушение, снижается. При одинаковых температурах аустенитизации термическое упрочнение в воде обеспечивает более высокую устойчивость к коррозии из-за образования пакетного мартенсита, более однородного, чем смешанная феррито-перлитная структура, образующаяся при воздушном охлаждении.

Для деформирования стальных изделий в холодном состоянии необходимы энергетические затраты, которые расходуются не только на формоизменение, но и повышают энергетическую неустойчивость металла, проявляющуюся в снижении его сопротивления к воздействию внешних коррозионноактивных сред. Однако холодная пластическая деформация вызывает ориентированное расположение атомных плоскостей и структурных составляющих, во всяком случае, в приповерхностном слое изделий, и это может изменить характер ее влияния на коррозионную стойкость стали.

Для исследований использовали образцы из стали СтЗпс, отрезанные от арматурного стержня № 16 класса А400С. Химический состав (% масс.) и механические свойства стержней были следующими: 0,25 С, 0,54 Мн, 0,09 Si, 0,24 S, 0,16 Р, 0,04 Cr, 0,08 Ni, 0,12 Cu; $\sigma_b = 659 \text{ Н/мм}^2$, $\sigma_T = 502 \text{ Н/мм}^2$, $\delta = 24 \%$.

Холодное деформирование проводили путем растяжения образцов на разрывной машине. Испытания на электрохимическую коррозию проводили в 10 %-ом водном растворе H_2SO_4 , в морской и водопроводной воде. Кратковременные испытания в растворе серной кислоты проводили в течение 30 мин., длительные испытания в воде – в течение 196 дней. Устойчивость к коррозии оценивали по объемному и массовому показателям.

Испытания образцов на электрохимическую коррозию в 10 %-ом водном растворе H_2SO_4 показали, что при малых степенях деформации показатель коррозии меньше, чем при больших степенях деформации; при степени деформации больше 30 % показатель коррозии снижается (рис. 6).



Рис. 6. Зависимость объемного показателя коррозии от степени деформации арматурного стержня при испытании в кислом растворе

В области малых деформаций, свойственных натяжению арматуры, показатель коррозии в морской воде уменьшается с увеличением степени деформации.

При испытании арматурного стержня на коррозию в водопроводной воде также установлено, что при некоторых степенях деформации коррозионные процессы замедляются: при деформации образцов до 15 % коррозионная стойкость растет, от 15 до 30 % – снижается и далее снова растет (рис. 7).



Рис. 7. Изменение массового показателя корозии в зависимости от степени деформации арматурного стержня при испытании на коррозию в водопроводной воде

Проведенные эксперименты дают возможность описать кинетику электрохимической коррозии исследуемой арматуры. Полученные следующие уравнения объема выделившегося водорода при коррозии арматуры в 10 %-ом водном растворе H_2SO_4 :

Ступень деформации, %	Зависимость $V_{объем.H_2} = f(\tau)$
1,8	$- 5,07142 + 2,78095 \times \tau$
3,4	$3,42857 + 3,18095 \times \tau$
31,4	$- 45,4011 + 43,9153 \times \tau 0,5$
58,5	$- 0,57142 + 5,31429 \times \tau$

Видно, что зависимости показателя корозии являются линейными или степенными. Холоднодеформированная арматура корродирует более интенсивнее в кислой среде. Повышение устойчивости к общей коррозии как в кислых, так и нейтральных средах, в некоторых случаях, при повышении степени деформации может быть связано с благоприятным расположением атомных плоскостей и волокнистой структурой, в результате чего суммарный коррозийный ток, ответственный за коррозийное разрушение, снижается.

ВЫВОДЫ

Настоящим исследованием показано, что склонность арматурных стержней из непрерывнолитого металла к общей коррозии принципиально возможно минимизировать варьированием параметров горячей и холодной пластической деформации и термического упрочнения с отдельного нагрева.

ЛИТЕРАТУРА

1. Минаев А. А. Совмещенные металлургические процессы : монография / А. А. Минаев. – Донецк : Технопарк ДонГТУ УНИТЕКС, 2008. – 552 с.
2. Ефимов В. А. Современные технологии разливки и кристаллизации сплавов / В. А. Ефимов, А. С. Эльдарханов. – М. : Машиностроение, 1998. – 359 с.
3. Процессы непрерывной разливки : монография / А. Н. Смирнов, В. Л. Пилушенко, А. А. Минаев и др. – Донецк : ДонНТУ, 2002. – 536 с.
4. Производство стали на агрегате ковши-печь / Д. А. Дюдкин, С. Ю. Бать, С. Е. Гринберг, С. Н. Маринцев. – Донецк : Юго-восток. ЛТД, 2003. – 300 с.