

СУДОСТРОЕНИЕ И СУДОРЕМОНТ

УДК 621.01.357.74

В. А. Голицын,
канд. техн. наук, доцент,
СПГУВК

ВЛИЯНИЕ ХРОМИРОВАНИЯ НА ПЛАСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТАЛИ 20Х

INFLUENCE OF CHROMIUM PLATING ON TOUGHNEES OF STEEL 20X

В статье рассмотрено влияние электролитического хромирования в универсальном электролите на пластические свойства стали 20Х.

In the article the laboratory researches of influence of electrolytic chromium plating on plastic properties of a steel 20Cr are resulted.

Ключевые слова: хромирование, пластичность стали.

Key words: chromium plating, plasticity of a steel.

ГАЛЬВАНИЧЕСКИЕ покрытия, повышая одни эксплуатационные характеристики, нередко ухудшают другие, подчас более важные характеристики.

После нанесения покрытий прочность стали не изменяется или незначительно уменьшается (σ_B , $\sigma_{В.ИЗГ.}$, $\tau_{ИЗГ.}$), а ударная вязкость, показатели пластичности (ψ , a_K , δ_5), малоцикловая прочность и усталостная прочность всегда уменьшаются.

Хромирование может оказывать воздействие на механические свойства основного металла по следующим причинам:

1) хромовые покрытия отличаются исключительно высокой прочностью сцепления с основным металлом, поэтому хромированную деталь необходимо рассматривать как систему, свойства поверхности которой определяются свойствами хромового покрытия;

2) в хромовых покрытиях возникают значительные остаточные напряжения растяжения, распространяющиеся на поверхность основного металла;

3) твердые хромовые покрытия не выдерживают пластической деформации основного металла и растрескиваются; трещины являются концентраторами напряжений для основного металла;

4) в процессе электроосаждения выделяется относительно большое количество

водорода, который, проникая в основной металл, вызывает его охрупчивание.

В зависимости от условий эксплуатации все детали судовых технических средств можно разделить на три основные группы, работающие: а) при длительных статических или повторных статических нагрузках (болты, штоки цилиндров, шкворни и т. п.); б) при динамических знакопеременных нагрузках (коленчатые валы, поршневые пальцы, оси редукторов, валы турбин и т. п.); в) на износ при сравнительно небольших нагрузках (цилиндры, плунжеры и т. п.).

В процессе электроосаждения хрома имеет место наводороживание как осадка, так и основного металла, что оказывает влияние на их физико-механические свойства. Ухудшаются такие показатели, как предел прочности, сопротивляемость длительным знакопеременным нагрузкам. Создаются условия для возникновения хрупкости и пр.

При испытаниях с однократными приложениями нагрузки все сечение материала работает почти равномерно, разрушение происходит быстро, и поэтому изменения в состоянии поверхностного слоя стали в результате нанесения покрытий не влияют на прочностные характеристики стали (σ_B , $\sigma_{В.ИЗГ.}$, τ_{\max}). Кроме того, электролитические хромовые покрытия обладают низкими прочностными и пластическими свойствами. В начале испы-

таний они растрескиваются на всю толщину хрома в области небольших упругих деформаций стали и поэтому в дальнейших испытаниях практически не участвуют. По этим причинам прочность основного металла детали с покрытием не изменяется. Поскольку испытания проводят быстро, действие водорода не проявляется.

Однако для деталей, длительное время находящихся под действием статических напряжений (затянутые болты испытывают растягивающие напряжения, оси — изгибающие напряжения, разрезные шайбы и пружины — скручивающие напряжения), создаются хорошие условия для замедленного разрушения в результате наводороживания при нанесении гальванических покрытий. Вредное действие водорода в большей мере проявляется при низкой скорости деформации в течение продолжительного времени. Повторное статическое нагружение деталей в наиболее полной мере создает условия для замедленного разрушения.

Детали различных машин и механизмов находятся под напряжением не только при работе, но и в состоянии покоя под действием веса конструкции, затяжки, запрессовки и т. д., что создает условия для замедленного разрушения в результате наводороживания.

Электроосаждение хрома происходит слоями, при росте каждого нового слоя хрома в осадок включается водород как путем механического захвата, так и в результате адсорбции на поверхности атомарного водорода. Водород диффундирует в кристаллическую решетку, используя дефекты структуры — микроскопические пустоты, трещины, проникает в пространство между отдельными блоками мозаичной структуры, вызывая ее искажение. Вследствие растворения ионизированного водорода в кристаллической решетке в виде протонов имеет место образование твердого раствора.

Наряду с поглощением водорода осадками хрома имеет место наводороживание основного металла. Скорость проникновения водорода в сталь при хромировании в 14 раз больше, чем при никелировании, и в 1,9 раза больше, чем при цинковании. Особенность структуры хрома — наличие трещин и пус-

тот — благоприятствует проникновению водорода к основному металлу даже при достижении осадком значительной толщины. Особенно активно внедряется водород в кристаллическую решетку стали в начальный период процесса, до осаждения на катоде сплошного слоя хрома, а затем процесс наводороживания стали замедляется. Чем выше степень дисперсности осадка, тем более интенсивно протекает процесс поглощения водорода основным металлом.

На диффузию водорода в сталь влияет также качество обработки поверхности. Скорость диффузии через отшлифованные или полированные поверхности стали больше, чем через шероховатые, это объясняется влиянием состояния поверхностных слоев металла, деформированных при механической обработке. При хромировании на наводороживание определяющее влияние оказывает температура электролита. При повышении температуры с 45 до 75 °С коэффициент диффузии увеличивается в 2 раза, что приводит к большему наводороживанию. Определяющее влияние температуры на наводороживание стали обусловлено изменением коэффициента диффузии водорода, степенью заполнения поверхности Н-атомами в начале осаждения покрытия и структурой покрытия.

При определении влияния гальванических покрытий на эксплуатационные свойства деталей следует учитывать такие важные факторы, как физико-механические свойства основного металла и состояние его поверхности, технологическую последовательность нанесения покрытий, способы обработки деталей перед покрытием и способы обработки самого покрытия, условия эксплуатации деталей. Только зная, какое влияние оказывает каждый фактор на эксплуатационные свойства деталей, можно правильно управлять процессом осаждения металла на металл.

В статье представлены результаты исследования влияния различных параметров режима хромирования на пластические свойства нормализованной стали 20Х ГОСТ 1050-74 ($HV \geq 170$, $\sigma_{BP} = 600$ МПа, $\psi = 45$ %, $\sigma_{-1} = 320$ МПа).

Чувствительность стали в отношении водородной хрупкости, а следовательно, и

степень наводороживания ее в зависимости от способа хромирования и параметров режима оценивалась по методике Баштиена [2], предложившего в качестве измерителя для водородной хрупкости сужение поперечного сечения образца при статическом растяжении с малой скоростью нагружения, которое может быть рассчитано по формуле

$$I = \frac{\Psi_1 - \Psi_2}{\Psi_1} \cdot 100\%,$$

где Ψ_1 — относительное сужение образца, не хромированного;

Ψ_2 — относительное сужение образца, хромированного.

Для испытаний использовались стан-

дартные десятикратные гагаринские образцы (ГОСТ 1497-73).

Результаты исследований получены в ванне хромирования универсального типа (CrO_3 — 250 г/л; H_2S_4 — 2,5 г/л). Электроосаждение хрома выполнялось при всех исследованиях на постоянном токе с коэффициентом пульсации 1 %.

Также было исследовано влияния интенсивности перемешивания электролита аноднотруйным способом на пластические свойства основного металла в сопоставлении с аналогичными данными из стационарной ванны.

Результаты исследований представлены в табл. 1.

Таблица 1

Влияние наводороживания хромовых покрытий на пластичность основного металла (сталь 20X $\psi = 45\%$)

№ п/п	$T_{\text{э}},$ К	$D_{\text{к}},$ $\frac{\text{кА}}{\text{м}^2}$	$Q,$ $\text{м}^3/\text{с}$	$t,$ мин	$\Psi,$ %	$I,$ %	№ п/п	$T_{\text{э}},$ К	$D_{\text{к}},$ $\frac{\text{кА}}{\text{м}^2}$	$Q,$ $\text{м}^3/\text{с}$	$t,$ мин	$\Psi,$ %	$I,$ %
1	323	5	0	10	44	2,2	12	333	8	0	10	43	4,4
2	«	5	0	30	43	4,4	13	«	8	0	30	42	6,7
3	«	5	0	60	42	6,7	14	«	8	0	60	31	8,9
4	333	5	0	10	43	4,4	15	333	10	0	10	44	2,2
5	323	8	0	10	44	2,2	16	«	«	0	30	43	4,4
6	«	8	0	30	42	6,7	17	«	«	0	60	42	6,7
7	«	8	0	60	41	8,9	18	«	8	$1,5 \cdot 1^{-4}$	10	43	4,4
8	«	10	0	10	44	2,2	19	«	8	$1,5 \cdot 1^{-4}$	30	42	6,7
9	«	10	0	30	44	2,2	20	«	8	$1,5 \cdot 1^{-4}$	60	41	8,9
10	«	10	0	60	43	4,4	21	«	8	$3,5 \cdot 1^{-4}$	60	39	13
11	328	8	0	60	42	6,7	22	«	8	$6 \cdot 10^{-4}$	60	36	20

Результаты исследований показали, что хромирование стали 20X снижает пластичность металла в результате наводороживания с увеличением толщины покрытия при температурах 323, 328 и 333 °С. Изменение плотность тока с 5 до 10 $\text{кА}/\text{м}^2$ при этих температурах оказывает некоторое уменьшение пластичности стали. Это обусловлено тем, что плотность тока при наводороживании определяет интенсивность миграции ионов

водорода к катоду. В работе [4] установлено, что с увеличением плотности тока эффективность наводороживания растет и достигает максимального значения в зависимости от условий эксперимента. Дальнейшее увеличение плотности тока не приводит к усилению эффекта наводороживания в связи с ограниченной возможностью поверхности металла поглощать водород, а также с образованием вокруг катода сплошной зоны пузырьков во-

дорода, препятствующих контакту электролита с металлом. Полученные данные показывают, что при хромировании на одинаковую толщину наводороживание стали будет снижаться с уменьшением времени электролиза. Установлено, что при одинаковых условиях осаждение водорода проникает в основу с разной скоростью и в разном количестве в зависимости от природы металла подложки, что, очевидно, связано с различием коэффициентов диффузии водорода в основу. Установлено, что увеличение температуры с 323 до 338 К увеличивает коэффициент диффузии в различных металлах в 1,4–1,7 раза, в то время как количество проникающего в основу водорода при осаждении хрома возрастает при этом значительно больше — в 6–10 раз. Это показывает, что существенную роль для диффузии водорода в основу при изменении условий осаждения хрома играют и другие факторы, в частности скорость выделения металла, определяющая как степень заполнения поверхности Н-атомами, так и образование «барьерной» толщины покрытия, и структура осаждаемого покрытия, значительно изменяющаяся в зависимости от температуры. В процессе электроосаждения хрома проникновение водорода в основу зависит от поглощающей способности самого осадка: большее задержание водорода в блестящем хроме, обусловленное дефектами структуры, приводит к меньшему проникновению водорода в основу по сравнению с молочным хромом.

Увеличение плотности тока и снижение температуры электролита при хромировании способствуют охрупчиванию стали. Однако влияние плотности тока проявляется неоднозначно в зависимости от ее величины и температуры электролита, а также их сочетания. Водородная хрупкость стали в значительной степени определяется структурой осадка. Это обусловлено тем, что нестационарные токовые режимы, высокая плотность тока и пониженная температура электролита способствуют образованию гексагональной фазы хрома. Несмотря на то что с ростом плотности тока общее содержание водорода в осадке возрастает, значительная его часть (в ионизированном и атомарном состоянии) располагается в октаэдрических пустотах,

образующейся гексагональной фазы хрома, а потому его роль в изменении хрупкости основного металла незначительна. Так как диффузионный поток водорода в сталь будет снижен, хромовое покрытие будет обладать более высоким барьерным эффектом. Результаты наших исследований показывают, что характер микроструктуры в поперечном сечении покрытия свидетельствует об увеличенном содержании гексагональной фазы хрома, это также подтверждается общим газосодержанием осадков.

Основными факторами, влияющими на наводороживание стали при электролитическом хромировании, являются температура электролиза и продолжительность осаждения хрома [1–6]. Влияние плотности тока и интенсивности циркуляции электролита в межэлектродном пространстве проявляется главным образом через изменение продолжительности процесса осаждения покрытия и практически незаметно в самом процессе проникновения водорода в сталь при хромировании. Плотность тока и циркуляция электролита в межэлектродном пространстве увеличивают скорость осаждения хрома и изменяют структуру осадка. Для получения осадка заданной толщины при одинаковой температуре электролита и при увеличении скорости осаждения затрачивается меньше времени. Хромирование анодно-струйным способом по сравнению со стационарной ванной при одинаковых плотности тока и температуре электролита также обеспечивает более высокую скорость осаждения хрома, а потому требуется меньше времени для получения осадка равной толщины. Поэтому увеличение плотности тока и циркуляция электролита в исследованном интервале плотности тока и температуры электролита не снижают водородную хрупкость основного металла в большей степени.

Для дальнейших рассуждений оказались весьма важными результаты исследований З. А. Соловьевой [6, с. 11–18], полученные при изучении закономерностей диффузии водорода в основу в зависимости от условий осаждения хрома.

Результаты исследований показали, что повышение температуры хромирования от 328 до 343 К способствует более интенсивному

проникновению водорода в сталь, в то время как с повышением плотности тока от 3 до 9–10 кА/дм² в интервале температур 328–343 К изменение плотности тока сравнительно мало влияет на временные кривые проникновения водорода в основу.

Проникновение водорода в сталь мало меняется, если время хромирования одинаково. Однако при хромировании на одинаковую толщину наводороживание сталей будет снижаться с повышением плотности тока соответственно уменьшению времени электролиза. Было установлено, что при переходе от железа Армко к стали У-8 и 30ХГСНА диффузионный поток при осаждении блестящего хрома понижается в 1,5–2,5 раза. Повышение температуры с 323 до 343 К увеличивает количество проникающего водорода в основу в 6–10 раз. Результаты исследований [4; 6] показали, что процесс проникновения водорода в основу при электроосаждении хрома определяется как условиями диффузии, то есть природой основы и температуры, так и скоростью осаждения металла и его структурой, зависит от поглощающей способности самого осадка. Большое задержание водорода в блестящем хrome, обусловленное дефектами структуры, приводит к меньшему проникновению водорода в основу по сравнению с молочным осадком. Возможно также, что определенную роль играет изменение степени заполнения поверхности Н-атомами, которое может быть меньше в условиях образования блестящего хрома вследствие более благоприятных условий отвода атомарного водорода из осадка через каналы (трещины).

Обращает на себя внимание схожесть характера изменения интенсивности диффузионного потока водорода в основной металл с изменением толщины осадка хрома и изме-

нением остаточных напряжений первого рода в осадках хрома при изменении его толщины. Напряжения, полученные методом гибкого катода, с увеличением толщины увеличиваются до определенного значения и затем резко или плавно снижаются. Остаточные напряжения при температурах 323–333 К выше, чем у покрытий, полученных при более высоких температурах электролиза. Однако при температурах 323–333 К с увеличением толщины покрытия до определенного значения напряжения уменьшаются в результате растрескивания, в то время как при 343 К и выше напряжения продолжают повышаться пропорционально увеличению толщины слоя хрома. Когда толщина покрытия достигает определенного значения, то напряжения в хrome начинают превосходить прочность хрома на разрыв. С увеличением температуры увеличивается пластичность хрома, в связи с чем растут сопротивляемость покрытия растрескиванию и суммарные остаточные напряжения.

Хром, полученный при обычных условиях электролиза, является весьма хрупким металлом с временным сопротивлением разрыву $50 \cdot 10^6$ – $25 \cdot 10^6$ МПа. Поэтому при достижении напряжений свыше этой величины покрытие будет растрескиваться, в результате чего снимается часть напряжений и суммарные растягивающие остаточные напряжения будут всегда меньше временного сопротивления хрома на разрыв.

Растрескивание хрома в процессе электролиза после достижения определенной толщины осадка имеет циклический характер. Было установлено, что в период растрескивания происходит выделение водорода. Очевидно, что снижение диффузионного потока водорода обеспечивается за счет его удаления через поры хрома.

Список литературы

1. Вороницын И. С. Исследование механических свойств хромовых покрытий, применяемых для упрочнения и восстановления деталей машин / И. С. Вороницын. — Л.: ЛДНТП, 1963. — 210 с.

2. Белоглазов С. М. Наводороживание стали при электрохимических процессах / С. М. Белоглазов. — Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1975. — 412 с.

3. Дехтярь Л. И. О возникновении трещин в железных и хромовых покрытиях / Л. И. Дехтярь // Материалы науч. конф. по механизации сельскохозяйственного производства. — Кишинев, 1970.

4. Карпенко Г. В. Влияние водорода на свойства стали / Г. В. Карпенко, Р. И. Крипякевич. — М.: Metallurgizdat, 1962. — 196 с.

5. Молчанов В. Ф. Эффективность и качество хромирования деталей / В. Ф. Молчанов. — Киев: Техника, 1976. — 176 с.

6. Соловьева З. А. Определение проникновения водорода в сталь при электролитическом хромировании с целью восстановления механических свойств стали. Современная технология хромирования / З. А. Соловьева, А. Я. Рябой. — Л.: ЛДНТП, 1976.

УДК 625.12:539.4

С. О. Барышников

канд. техн. наук, профессор,
СПГУВК;

Т. О. Каркина

канд. техн. наук, доцент,
СПГУВК

ПРАВКА КОРПУСА СУДНА ЧАСТИЧНЫМИ ПОПЕРЕЧНЫМИ РАЗРЕЗАМИ

SHIP HULL STRAIGHTENING BY PARTIAL CROSS CUTTING

В процессе эксплуатации судов внутреннего плавания появляются общие остаточные деформации корпусов судов. В данной работе рассматривается один из способов устранения деформаций такого вида с использованием полного поперечного разреза корпуса судна.

During the inland vessel operations the general residual deformations of ship hull appears. In this article one the methods is observing to eliminate of such deformation using partial ship hull cross cutting.

Ключевые слова: общий остаточный прогиб, перегиб корпуса, устранение остаточного перегиба корпуса.

Key words: residual total bend, hull bend, elimination of the hull bend.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ процесс целесообразно применять для устранения остаточного перегиба судна с выявленными существенными искривлениями корпуса ($\Delta\varphi \geq 4 \cdot 10^{-3}$ рад на участке длиной $5 \div 6$ м или $f \geq 3$ мм) на отдельных участках.

Форма остаточной изогнутой оси корпуса, полученная по результатам измерений (1), представляется в виде кривой, показывающей отстояние днища от первоначальной

основной плоскости с указанием мест существенных искривлений (рис. 1), представляемой в масштабе 1:500 по длине судна и 1:10 по высоте — для ординат отклонения днища от основной плоскости.

При правке должны выполняться следующие операции.

1. Разметка мест частичных разрезов.

2. Расчет количества стапельных тумб.

Определение места их расстановки для выполнения 1-го частичного разреза. Расстанов-