

состоянии вследствие снижения доли эвтектических карбидов и увеличения количества остаточного аустенита в ее структуре.

2. Характер изменения твердости стали в результате последующего отпуска при 550°C длительностью до 10 часов в значительной степени определяется условиями нагрева под закалку. В случае закалки от относительно невысоких температур (850–950°C) кратковременный отпуск приводит к значительному снижению твердости с последующим упрочнением стали при увеличении длительности выдержки. При более высоких температурах нагрева под закалку разупрочнение стали при кратковременных выдержках при отпуске оказывается менее заметным, а последующее повышение твердости, обусловленное дисперсионным твердением, обеспечивает упрочнение стали до уровня, превышающего таковой в закаленном состоянии.

3. После закалки от температур 950–1100°C и последующего отпуска при 550°C длительностью 3–4 ч обеспечивается получение твердости стали на уровне 40–42 HRC, которая стабильно сохраняется (с тенденцией к некоторому возрастанию) с увеличением длительности выдержки до 10 ч. Это дает основание считать возможным использование такого сплава для изготовления износостойких изделий, работающих при повышенных температурах.

Таким образом, изменяя режимы термической обработки высокохромистых сплавов на основе железа, можно корректировать их структуру и получать такие свойства, которых будут требовать условия эксплуатации конечного изделия.

Список литературы

1. Сорокин Г.М. Взаимосвязь износостойкости и механических свойств стали // Вестник машиностроения, 1990. — № 11. — С. 9–13.
2. Гольдштейн М.И., Грачев С.В., Векслер Г.М. Специальные стали и сплавы. — М.: Металлургия, 1985. — 408 с.
3. Филлипов М.А., Литвинов В.С., Немировский Ю.Р. Стали с метастабильным аустенином. — М.: Металлургия, 1988. — 257 с.
4. Гудремон Э. Специальные стали. Т.1 и 2. Пер. с нем. — М.: Металлургиздат, 1960.

© Пашинский В.В., Горбатенко В.П., Горбатенко В.В., 2004

АЛИМОВ В.И., БАЙКОВ Е.В. (ДОННТУ)

ВЛИЯНИЕ АСИММЕТРИЧНОЙ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ НА СКЛОННОСТЬ К КОРРОЗИОННОМУ РАЗРУШЕНИЮ ОЦИНКОВАННОЙ ЛИСТОВОЙ СТАЛИ

Асимметричная холодная прокатка оцинкованной листовой стали со степенями деформации до 20% вызывает немонотонное изменение коррозионной стойкости покрытия в процессе коррозии с водородной деполяризацией; изменение зависимости при степенях деформации 13–15% вызвано конкурирующим воздействием деформирования на микронеровности поверхности и однородность энергетического состояния приповерхностных слоев.

Благодаря своим свойствам, низким затратам энергии на производство и возможности многократной полной рециркуляции сталь остается лидирующим конструкционным материалом в современном мире. Однако 10–20% годового объема производства стали идут на восстановление потерь от коррозии [1]. Суммарный ущерб из-за коррозионного разрушения достигает в промышленно развитых странах 4–5% национального дохода [2]. Из-за дальнейшего повышения загрязненности атмосферы (и, как следствие, ее агрессивности) потери от коррозии будут расти.

Одним из путей снижения этих потерь является применение антикоррозионных покрытий, наносимых на стальную заготовку различными способами (электролитическим, горячим погружением как поштучно, так и в агрегатах непрерывного действия, плакированием и т.д.). Так в Европе уже 70% холоднокатаного листа заменены на лист с покрытием [3].

Нанесение же покрытия на готовое изделие может вызвать искажение его размеров, формы, свойств и т.д. Поэтому покрытие удобнее наносить на заготовку (листовой и сортовой прокат, проволоку, трубы и т.д.). Для получения товарной продукции с требуемыми размерами, формой и свойствами заготовку уже с нанесенным антикоррозионным покрытием обрабатывают давлением (прокаткой, волочением, штамповкой и т.д.). При этом на коррозионную стойкость покрытия (поверхностных слоев) оказывают влияние два фактора.

С одной стороны, из-за хаотичной ориентации зерен в металле покрытия под действием внешней нагрузки они деформируются неодинаково. Это приводит к возникновению между зернами разности потенциалов, т.е. образуется множество гальванических пар, которые и являются причиной коррозии. Следовательно, возникающая при обработке давлением неоднородность деформации зерен металла покрытия ведет к снижению коррозионной стойкости покрытия.

С другой стороны, в процессе обработки давлением происходит снижение шероховатости поверхности обрабатываемой заготовки, т.е. уменьшается суммарная площадь контакта поверхности с окружающей средой и увеличивается радиус кривизны: это позволяет повысить коррозионную стойкость покрытия.

Ю.Г.Шнейдер [4] показал, что с увеличением силы обкатывания коррозионная стойкость поверхностных слоев, в общем случае, изменяется по нелинейному закону: возрастает, достигает максимального значения и затем начинает снижаться. Вызвано это, скорее всего тем, что при небольших степенях деформации (а, следовательно, и силе деформации), снижение шероховатости поверхностных слоев повышает коррозионную стойкость покрытия сильнее, чем неоднородность деформации зерен ее снижает. С увеличением степени деформации разница во влиянии на коррозионную стойкость покрытия шероховатости поверхностных слоев и неоднородности деформации уменьшается и, в конечном итоге, влияние неоднородности деформации становится преобладающим.

В этой связи вызывает практический и научный интерес применение обработки давлением для повышения коррозионной стойкости покрытия. Значительную долю среди антикоррозионных покрытий занимают покрытия из цинка, нанесенные горячим (погружением в расплав) способом [3].

Поэтому задачей данного исследования является определение степени деформации при холодной прокатке горячеоцинкованного листового проката, обеспечивающей наибольшую коррозионную стойкость покрытия.

Исследования проводили на образцах, вырезанных из полос, оцинкованных в агрегате непрерывного горячего цинкования. Толщина цинкового покрытия на полосах в агрегате регулируется при помощи специального струйного устройства (так называемого газового или воздушного ножа), а окончательной операцией технологической обработки полос является пассивация — для образования защитного (антикоррозионного) слоя хроматов цинка [5]. Размер образцов 30x140 мм, лист основы из стали 08 кп ($\leq 10\% \text{ C}$, 0,20–0,40% Mn).

Маркировку на образцах наносили с одной и той же стороны, которая соответствовала верхней стороне полосы на выходе из агрегата непрерывного горячего цинкования.

* В экспериментах принимала участие Бойко Н.Н.

Толщину образцов, как и толщину цинкового покрытия с обеих сторон образцов, измеряли в пяти точках по его длине при помощи микрометра и магнитного измерителя толщины немагнитных покрытий МТ-41НЦ, соответственно. Толщина образцов колебалась в пределах от 0,54 до 0,58 мм, а ее среднее значение составляло 0,562 мм. Толщина покрытия с маркированной стороны составляла 17–33 мкм, с немаркированной — 21–40 мкм, а средние значения, соответственно, 22,1 и 32,4 мкм.

Образцы прокатывали на двухвалковом лабораторном прокатном стане 170 кафедры ОМД ДонНТУ. Валки стана приводят во вращение электродвигателем постоянного тока через понижающий редуктор и шестеренную клеть. При проведении исследований использовали закаленные валки. Их устанавливали в подушках на подшипниках качения.

Образцы прокатывали без смазки за один пропуск. При одном и том же положении нажимных винтов прокатывали не менее трех образцов. Перед пропуском образец и валки обезжиривались ацетоном.

При прокатке величина шероховатости поверхности проката зависит от ряда технологических параметров (шероховатости поверхности валков, степени деформации, наличия смазки и т.д.). Одни из них способствуют снижению шероховатости проката, а другие нет. Одним из параметров, способствующих снижению шероховатости, является рассогласование скоростей валков — с возрастанием степени рассогласования шероховатость поверхности проката как в продольном, так и в поперечном направлениях изменяется по нелинейному закону и достигает минимума при степени рассогласования ~ 4% [6].

С учетом этого оцинкованные образцы прокатывали с рассогласованием скоростей валков, которое создавали разницей диаметров валков. Степень рассогласования скоростей валков a определяли в процентах как отношение разницы диаметров ведущего (большого) D_1 и ведомого (меньшего) D_2 валков к их полусумме.

Ведущий валок устанавливали нижним, т.к. он приводится во вращение от шестерни шестеренной клетки, соединенной с понижающим редуктором. Маркированную сторону образца при проведении исследований обращали как к ведущему, так и к ведомому валкам.

При проведении исследований рассогласование скоростей валков составляло 2,67% ($D_1=98,6$ мм; $D_2=96$ мм).

Степень деформации образцов ϵ также определяли в процентах. Ее величину оценивали по вытяжке λ по известной зависимости:

$$\epsilon = \left(1 - \frac{1}{\lambda}\right) \cdot 100\%. \quad (1)$$

Для определения вытяжки на образцы наносили параллельные линии и измеряли расстояние между ними до и после прокатки. Расстояние между линиями измеряли при помощи большого инструментального микроскопа БИМ-1. Цена деления на лимбе микроскопа — 0,5 мм. Величину вытяжки рассчитывали как отношение расстояния между рисками до и после прокатки.

Проведенные ранее исследования показали, что при обработке давлением с суммарными степенями деформации 20–80% коррозионное разрушение цинкового покрытия ускорилось [7, 8].

Поэтому величину степени деформации, обеспечивающую наименьшее коррозионное разрушение покрытия, при проведении исследования ожидали в диапазоне обжатий до 20%.

Для оценки коррозионной стойкости цинкового покрытия проводили испытания на электрохимическую коррозию в 5-% водном растворе соляной кислоты.

Для проведения испытаний отбирали как прокатанные, так и недеформированные оцинкованные образцы. Температуру и концентрацию раствора при испытаниях

поддерживали постоянными. Кроме того, при испытаниях одну из сторон и торцы образца изолировали от раствора коррозионноустойчивым лаком. Это позволило в ходе испытаний определить отрицательный показатель изменения массы* образцов и объем выделившегося водорода для каждой из сторон образца.

Как видно из рис. 1, зависимости отрицательного показателя изменения массы Km^- образцов от степени деформации для покрытий разной толщины и различных контактных условий (с ведущим и ведомым валками) имеют одинаковый характер. При этом плавное снижение кривых свидетельствует о преобладающем влиянии на коррозионную стойкость уменьшения шероховатости поверхности покрытия; замедление снижения и достижение минимального значения — о выравнивании влияния шероховатости и неравномерности деформации зерен цинкового покрытия; плавное возрастание — о преобладающем влиянии неравномерности деформации и энергетического состояния деформированного металла.

Однако при схожести характера кривых следует отметить, что изменение Km^- со стороны образца, контактирующего при прокатке с ведомым валком (независимо от толщины покрытия) меньше, чем контактирующего с ведущим валком.

Получены эмпирические зависимости** отрицательного показателя изменения массы от степени деформации. Уравнения имеют следующий вид:

$$Km^- = a_0 + a_1 \cdot \varepsilon + a_2 \cdot \varepsilon^2 + a_3 \cdot \varepsilon^3 + a_4 \cdot \varepsilon^4. \quad (2)$$

Значения коэффициентов уравнения и корреляции R , для каждой из зависимостей приведены в таблице.

Таблица. Значения коэффициентов уравнения и корреляции

Номер кривой (см. рис)	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	R
1	357,711	-12,691	1,449	-0,186	0,008	0,991
2	327,802	-11,206	1,652	-0,239	0,010	0,993
3	356,672	-11,271	-0,459	0,038	0,00003	0,999
4	327,439	-10,661	3,235	-0,422	0,015	0,995

На рис. 1 также приведены экспериментальные значения Km^- . Как видно, в некоторых случаях в начале деформации Km^- возрастает по сравнению с недеформированными образцами, т.е. снижается коррозионная стойкость покрытия. Такие случаи наблюдались и в исследованиях, проведенных ранее [9, 10]. Снижение коррозионной стойкости в начальный момент деформации, по-видимому, связано со следующим. Поверхность недеформированных образцов имеет кристаллизационную (грубую) шероховатость и покрыта тонкой пленкой хроматов цинка. Ее коррозионная стойкость выше, чем чистого цинка. При деформации с небольшими обжатиями пленка хроматов цинка разрушается, возникает неравномерность деформации зерен цинка покрытия, а кристаллизационная шероховатость еще не устранена, так как при таких величинах обжатий цинк покрытия не полностью заполняет микрорельеф поверхности валка.

* Чем меньше значение отрицательного показателя изменения массы, тем выше коррозионная стойкость.

** Эмпирические зависимости получены с использованием программы STATISTICA.

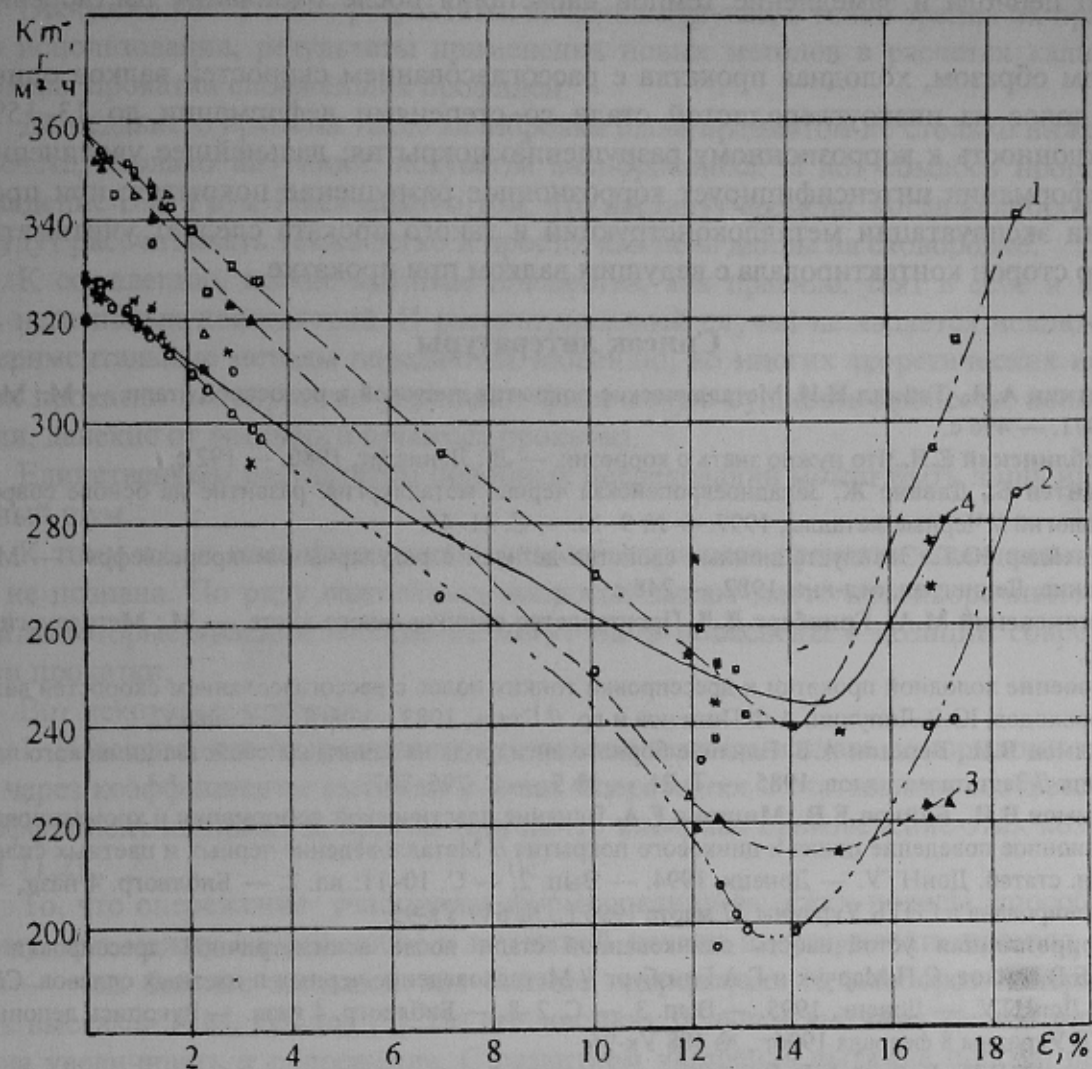


Рис. 1. Зависимость отрицательного показателя изменения массы образцов от степени деформации при контакте с ведущим (2, 3) и ведомым (1, 4) валками (1, 3 — толщина покрытия 17–33 мкм, 2, 4 — толщина покрытия 21–40 мкм)

Изучение микроструктуры оцинкованных образцов показало (рис. 2), что цинковое покрытие активно деформируется при холодной прокатке. Нарушения адгезии не наблюдалось.

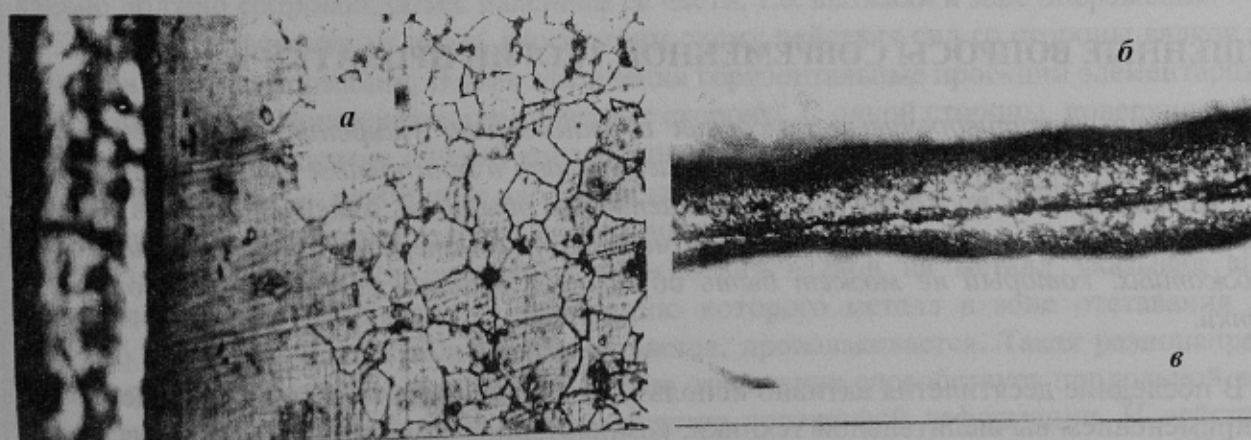


Рис. 2. Микроструктура недеформированной (а) оцинкованной листовой стали и прокатанной с обжатием 12,06% (б) и 12,85% (в), х 500

Кинетика выделения водорода при обжатиях до 20% имеет такой же характер, как и при больших обжатиях [7, 8]: плавное нарастание объема практически без инку-

бационного периода и замедление темпов нарастания после окончания растворения цинка.

Таким образом, холодная прокатка с рассогласованием скоростей валков оцинкованных полос из низкоуглеродистой стали со степенями деформации до 13–15% снижает склонность к коррозионному разрушению покрытия; дальнейшее увеличение степени деформации интенсифицирует коррозионное разрушение покрытия; при проектировании эксплуатации металлоконструкций и такого проката следует учитывать, какая из его сторон контактировала с ведущим валком при прокатке.

Список литературы

1. Виткин А.И., Тейндл И.И. Металлические покрытия листовой и полосовой стали. — М.: Металлургия, 1971. — 496 с.
2. Люблинский Е.Я. Что нужно знать о коррозии. — Л.: Лениздат, 1980. — 192 с.
3. Мейтен Б., Даванс Ж. Западноевропейская черная металлургия: развитие на основе современных технологий // Черные металлы, 1997. — № 9–10. — С. 41–45.
4. Шнейдер Ю.Г. Эксплуатационные свойства деталей с регулярным микрорельефом. — М.: Машиностроение, Ленинград. отд-ние, 1982. — 248 с.
5. Беляковский М.А., Гринберг Д.Л. Производство оцинкованного листа. — М.: Металлургия, 1973. — 256 с.
6. Освоение холодной прокатки и дрессировки тонких полос с рассогласованием скоростей валков / В.Н.Скороходов, Ю.В.Липухин, А.Ф.Пименов и др. // Сталь, 1983. — № 8. — С. 48–52.
7. Алимов В.И., Березин А.В. Влияние борного ангидрида на защитные свойства цинкового покрытия на стали // Защита металлов, 1985. — Т. 21. — № 5. — С. 796–797.
8. Алимов В.И., Байков Е.В., Мишина Е.А. Влияние пластической деформации и хроматирования на коррозионное поведение цинка и цинкового покрытия // Металловедение черных и цветных сплавов. Сб. научн. статей. ДонНТУ. — Донецк, 1994. — Вып. 2. — С. 10–11: ил. 2. — Библиогр. 4 назв. — Рукопись депонирована в ГНТБ Украины 27 марта 1995 г., № 649 Ук-95.
9. Коррозионная устойчивость оцинкованной стали после асимметричной дрессировки / В.И.Алимов, Е.В.Байков, С.И.Марчук и Г.А.Гинзбург // Металловедение черных и цветных сплавов. Сб. научн. статей ДонНТУ. — Донецк, 1995. — Вып. 3. — С. 2–8. — Библиогр. 4 назв. — Рукопись депонирована в ГНТБ Украины 8 февраля 1996 г., № 488 Ук-96.
10. Алимов В.И., Байков Е.В. Влияние асимметричной дрессировки на устойчивость к коррозии цинкового покрытия // Наукові праці ДонДТУ. Серія: Металургія. — Донецьк: ДонДТУ, 2001. — Вип. 31. — С. 94–97.

© Алимов В.И., Байков Е.В., 2004

ДОЛЖЕНКОВ Ф.Е. (ДОННТУ)

НЕРЕШЕННЫЕ ВОПРОСЫ СОВРЕМЕННОЙ ТЕОРИИ ПРОКАТКИ

Отмечены противоречивые суждения о взаимосвязи уширения, опережения, вытяжки при продольной прокатке. Доказывается, что и при полном прилипании металла к валкам процесс прокатки мало отличается от обычного, изменяется лишь механизм уширения и опережения. Отмечен аномальный рост опережения при повышенных обжатиях, который не может быть объяснен с позиций современной теории прокатки.

В последние десятилетия активно используют аналитические методы исследования с применением вычислительной техники, компьютерное моделирование процессов обработки металлов давлением. Это намного ускорило проведение исследований, позволило привлечь большее количество параметров, а, следовательно, более глубоко вникать в суть изучаемых процессов.