

УДК 621.771.011:621.771.23

Шпак В. И.
Шевченко В. В.
Федоринов М. В.
Сухоруков И. С.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ДЕФОРМАЦИЙ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ДРЕССИРОВКИ ОЦИНКОВАННЫХ ЛИСТОВ И ПОЛОС

Исследование распределения обжатия между цинковым покрытием и основным металлом при реализации процесса дрессировки имеет принципиально важное значение как в плане изучения совместной пластической деформации различных металлов, с точки зрения проверки основных теоретических представлений об этом процессе, так и в плане изучения изменения качества цинкового покрытия на предмет возможного его уплотнения.

Ранее в работах [1–3] были рассмотрены и разработаны теоретические модели расчета совместной пластической деформации, в частности в работах [2–3], был исследован данный процесс методами верхней и нижней оценки. А так же были проведены экспериментальные исследования по влиянию процесса дрессировки на стойкость покрытия и способность дрессированных полос подвергаться дальнейшим деформациям (штамповке) [4].

Целью работы является подтверждение правомерности рассмотрения оцинкованной стальной полосы как однородного материала при определении геометрических и силовых параметров очага деформации процесса дрессировки.

На основании теоретических разработок совместной пластической деформации различных металлов, данных в работе [1], и с учетом принятых в ней допущений, попытаемся теоретически доказать, что величина относительного обжатия цинкового покрытия равна относительному обжатию всего материала в целом, без учета возможных изменений свойств покрытия, например, его уплотнения, которое возможно по аналогии с известными методами обжатия слитков на прессах.

Общая относительная деформация обжатия рассматриваемой трехслойной полосы, если толщина покрытия с обеих сторон одинакова, может быть найдена из известного выражения [1–2]:

$$\varepsilon_{\text{общ}} = \varepsilon_M A_M + 2\varepsilon_{II} A_{II},$$

где ε_M – относительная деформация обжатия основного слоя металла;

ε_{II} – относительная деформация обжатия цинкового покрытия;

A_M – послойный коэффициент заполнения основного металла, равный:

$$A_M = \frac{h_M}{h},$$

где h_M – толщина слоя основного металла,

h – толщина слоя всего материала;

A_{II} – послойный коэффициент заполнения слоя покрытия:

$$A_{II} = \frac{h_{II}}{h},$$

где h_{II} – толщина слоя цинкового покрытия.

Из принятого допущения о том, что металл не вытекает из системы, т. е. имеет место деформация многослойного тела с жесткими условиями на выходе, и возможность, например, выдавливания более податливых компонентов в облой исключена, принимаем, что:

$$A_M = A_{OM} = \frac{h_{OM}}{h_0};$$

$$A_{II} = A_{OII} = \frac{h_{OII}}{h_0},$$

где h_0 – толщина всего материала до обжатия;

h_{OM} , h_{OII} – соответственно, толщины слоев основного материала и покрытия до обжатия.

Тогда соотношение между общим коэффициентом высотного обжатия γ и его частными значениями может быть записано как:

$$\gamma = \frac{1}{\frac{A_M}{\gamma_M} + 2 \frac{A_{II}}{\gamma_{II}}} = \frac{h_0}{h}, \quad (1)$$

где γ_M – коэффициент высотного обжатия основного металла:

$$\gamma_M = \frac{h_{OM}}{h_M};$$

γ_{II} – коэффициент высотного обжатия покрытия:

$$\gamma_{II} = \frac{h_{OII}}{h_{II}}.$$

С учетом того, что, например, для слоя покрытия:

$$\varepsilon = 1 - \frac{h_{II}}{h_{OII}}$$

или $h_{II} = (1 - \varepsilon_{II})h_{OII}$, разделив обе части выражения на h_{II} , получим $1 = (1 - \varepsilon_{II})\gamma_{II}$ или:

$$\gamma_{II} = \frac{1}{1 - \varepsilon_{II}}. \quad (2)$$

Аналогично для основного слоя металла:

$$\gamma_M = \frac{1}{1 - \varepsilon_M}. \quad (3)$$

Подставляя (2) и (3) в (1), получим:

$$\frac{h_0}{h} = 2(1 - \varepsilon_{II})A_{II} + (1 - \varepsilon_M)A_M.$$

С учетом того, что $h = h_0(1 - \varepsilon_{общ})$:

$$1 - \varepsilon_{общ} = 2(1 - \varepsilon_{II})A_{II} + (1 - \varepsilon_M)A_M.$$

Записывая полученное выражение совместно с выражением (2), получим систему уравнений:

$$\begin{cases} 2A_{II} - 2\varepsilon_{II}A_{II} + A_M - \varepsilon_M A_M + \varepsilon_{общ} - 1 = 0; \\ \varepsilon_M A_M + 2A_{II}\varepsilon_{II} - \varepsilon_{общ} = 0. \end{cases} \quad (4)$$

Из системы (4) имеем:

$$2A_{II} + A_M - 1 = 0. \quad (5)$$

Разделив выражение (1) на $\varepsilon_{общ}$, получим выражение:

$$\frac{\varepsilon_M}{\varepsilon_{общ}} A_M + 2 \frac{\varepsilon_{II}}{\varepsilon_{общ}} A_{II} = 1. \quad (6)$$

Тогда становится очевидным, что выражение (6) может перейти в выражение (5), при условии, что:

$$\frac{\varepsilon_M}{\varepsilon_{общ}} = \frac{\varepsilon_{II}}{\varepsilon_{общ}} = 1 \Rightarrow \varepsilon_M = \varepsilon_{II} = 1.$$

Таким образом, был получен вывод о том, что послойные деформации оцинкованной полосы должны быть одинаковы.

С целью подтверждения этого вывода были проведены экспериментальные исследования изменения толщины цинкового покрытия методом стравливания и методом исследования с помощью микрошлифов. При этом, исследование толщины цинкового покрытия методом стравливания его и взвешиванием образцов до и после травления, имело своей целью исключение влияния какого-либо уюва (уплотнения) покрытия в результате в результате обжатия. В качестве исследуемых образцов использовались образцы, полученные в результате экспериментальных исследований энергосиловых параметров в работах [3, 4]. Метод исследования с помощью микрошлифов имел своей целью установить фактические толщины покрытия после обжатия и выявления возможного уплотнения его в результате обжатия.

Исследование покрытия в самом начале показали значительный разброс его толщины не только по длине и по ширине рулона полосы, но даже в пределах вырезаемых образцов. Фотографии микрошлифов, приведенные на рис. 1, дают представление о разнотолщинности цинкового покрытия на исходной полосе. В среднем, толщина покрытия колебалась от 5 мкм до 60 мкм.

Как следствие, такая исходная разнотолщинность в значительной мере затрудняла обработку и анализ экспериментальных данных при установлении функциональной зависимости величины обжатия цинкового покрытия от общего обжатия всего материала.

В связи с этим, из общего количества образцов была отобрана часть, на которой были выполнены все необходимые замеры. Результаты замеров масс образцов и толщины покрытия представлены в табл. 1.

При анализе выполненных замеров пришлось прибегнуть к усреднению полученных величин, что отражено в указанной таблице. Для наглядности анализа и установление функциональной связи между обжатием покрытия и обжатием всего материала получены графические зависимости, представленные на рис. 2.

Кривая 1 построена по точкам, которые получены на основании предположения о том, что исходная толщина покрытия в каждой группе образцов была постоянной. К такому приему прибегли в виду того, что практически невозможно определить исходную толщину покрытия в нужном месте полосу методом травления и взвешивания образцов (невозможно один и тот же образец стравливать дважды). Прямая 2 построена на основании среднеинтегрального

значения функции, выраженной кривой 1. Прямая 2 хорошо согласуется с выделенными точками, полученными при наибольших деформациях материала, которые позволили выполнить замеры с большой точностью. Прямая 3, отражающая идеальную с точки зрения полученных теоретических выводов зависимость, проходит несколько выше прямой 2 и обнаруживает расхождение теоретических и экспериментальных данных в пределах 15,6 %.

Это расхождение, объясняемое указанными выше причинами, может служить подтверждением полученных теоретических выводов, тем более, что прямая 2 проходит ниже прямой 3.

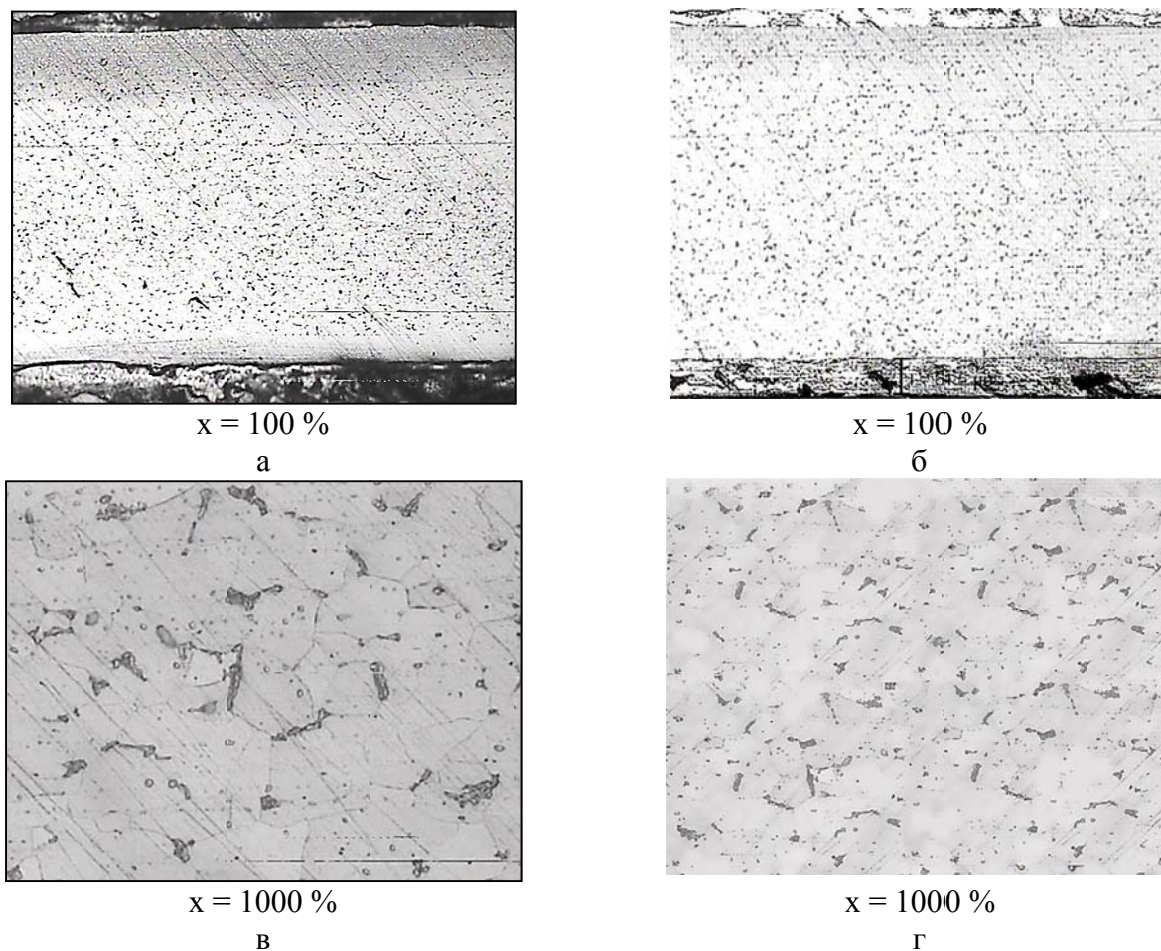


Рис. 1. Микршлифы структуры оцинкованной стали 08Ю до (а) и после (б) дрессировки ($e = 3,1\%$), микроструктура покрытия до (в) и после дрессировки (г) ($e = 3,1\%$)

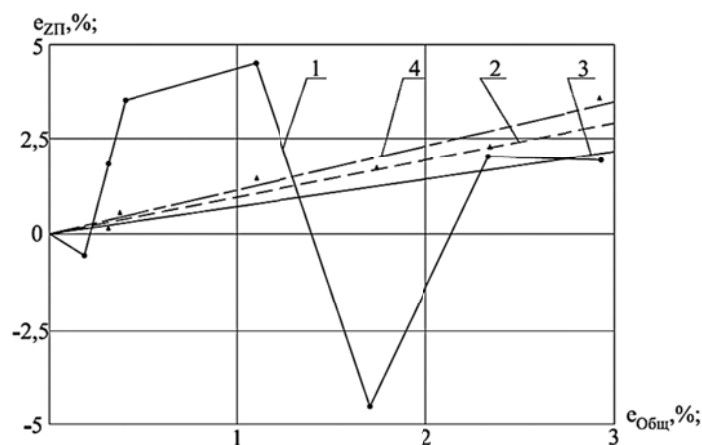


Рис. 2. Зависимость относительного обжатия слоя цинкового покрытия от относительного обжатия полосы

Таблица 1

Экспериментально определенные значения толщины и относительного обжатия цинкового покрытия

№ образца	Масса образца до травления, г	Масса образца после травления, г	Изменение массы образца, г	Площадь образца, мм ²	Расчетная толщина покрытия, мкм	Средняя расчетная толщина покрытия, мкм	Средняя толщина покрытия по микрошлифам, мкм	Средняя исходная толщина покрытия, мкм	$\varepsilon_{II}^{cp}, \%$	$\varepsilon_M^{cp}, \%$	$\varepsilon_{общ}^{cp}, \%$	$\frac{\varepsilon_{II}^{cp}}{\varepsilon_{общ}^{cp}}, \%$
1,1	6,8259	6,7107	0,1152	855,75	9,03	9,8	9,64	10	2	3,6	2,9	1,24
1,2	13,5875	13,3465	0,241	1772,65	9,44							
1,3	18,3345	17,9438	0,3907	2481,036	10,94							
2,1.	19,2546	18,8815	0,3731	2525,06	10,26	9,81	9,76	10	2	2,4	2,3	1,04
2,2	19,5999	19,2438	0,3581	2525,05	9,79							
2,3	19,3499	19,0072	0,3427	2537,62	9,38							
3,1	19,2771	18,9180	0,3591	2532,58	9,85	10,48	9,82	10	-4,8	1,8	1,7	1,05
3,2	19,3198	18,9157	0,4041	2525,06	11,11							
4,1	19,4221	18,8005	0,6216	2494,98	17,3	16,21	16,7	17	4,6	1,6	1,1	1,45
4,2	19,1075	18,5077	0,5998	2499,98	16,66							
4,3	19,1388	18,6067	0,5327	2522,55	14,66							
4,4	20,0645	19,4698	0,5947	2545,20	16,23							
5,1	19,1212	18,4964	0,6248	2545,88	17,06	16,38	16,9	17	3,6	0,5	0,4	1,25
5,2	19,5181	18,9398	0,5783	2535,1	15,84							

Прямая 4 построена по точкам, отражающим среднеинтегральное значение целого ряда замеров относительного обжатия покрытия по всей длине каждого микрошлифа, взятого из образцов, которые имели ту же величину относительного обжатия всего материала, как и материал, прошедший исследование покрытия путем травления и взвешивания. При этом образцы брались из одинаковых групп по величине исходной толщины.

Прохождение прямой 4 выше прямой 3 указывает на некоторое уплотнение (уков) цинкового покрытия в результате обжатия. Величина этого уплотнения (таб. 1) в среднем составляет 18 %, наличие такого уплотнения вполне допустимо, так как цинковое покрытие, полученное методом горячего цинкования, имеет некоторую рыхлость [1].

Уплотнение цинкового покрытия имеет положительное влияние в плане повышения качества штампуемости и коррозионной стойкости, как было ранее доказано в работе [4].

ВЫВОДЫ

Более детальное изучение явления изменения толщины цинкового покрытия в функции от величины общего обжатия всего материала требует проведения специальных исследований с большим числом замеров на полосах различной толщины с различной толщиной покрытия при условии обеспечения минимально возможной разнотолщинности цинкового покрытия на исходном материале. Кроме того, выполнение таких исследований требует проведение процесса дрессировки в реальных валках (реального диаметра) в реальных промышленных условиях, так как они могут оказывать существенное влияние на эффект обжатия самого покрытия. Очевидно, что такие исследования целесообразно проводить на действующем промышленном дрессировочном стане.

Однако проведенные исследования позволяют сделать вывод о том, что рассмотрение оцинкованной стальной полосы как однородного материала при определении геометрических и силовых параметров очага деформации является вполне правомерным.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аркулис Г. Э. *Совместная пластическая деформация разных металлов* / Г. Э. Аркулис. – М. : Металлургия, 1964. – 272 с.
2. Федоринов В. А. *Математическое моделирование напряжений, деформаций и основных показателей качества при прокатке относительно широких листов и полос : монография* / В. А. Федоринов, А. В. Сатонин, Э. П. Грибков. – Краматорск : ДГМА, 2010. – 156 с.
3. *Математическое моделирование напряженного состояния металла при дрессировке листов и полос с металлическими покрытиями на основе метода нижней оценки* / Сатонин А. В., Шевченко В. В., Сухоруков И. С., Сатонин А. А. // *Вісник східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля*. – Луганськ, 2012. – № 13(184).
4. *Методика и результаты экспериментальных исследований процессов дрессировки относительно тонких лент с покрытиями* / В. И. Шпак, В. В. Шевченко, С. М. Никишин, А. А. Сатонин // *Обработка материалов давлением : сб. науч. тр.* – Краматорск : ДГМА, 2010. – № 3 (24). – С. 158–161.

Шпак В. И. – канд. техн. наук, доц. каф. АММ ДГМА;

Шевченко В. В. – инженер-конструктор ПАО «НКМЗ»;

Федоринов М. В. – канд. техн. наук, доц. каф. АММ ДГМА;

Сухоруков И. С. – аспирант ДГМА.

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

ПАО «НКМЗ» – Публичное акционерное общество «Новокраматорский машиностроительный завод», г. Краматорск.

E-mail: ioVlad@ukr.net

Статья поступила в редакцию 11.02.2013 г.