

К ВОПРОСУ О РАССЛОЕНИИ ЛЕНТЫ ПРИ ПРОКАТКЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ

В.П.Северденко, Е.Б.Ложечников,
П.С.Овчинников, М.А.Баек

Расслоение по толщине лент, прокатанных из порошков АПС-2 и ПЖ2К, описано в работах /1/ и /2/. В этих работах было высказано предположение, что расслоение происходит из-за неравномерной деформации ленты по ее толщине и обусловленной этим различной величиной остаточных напряжений. Однако специальных исследований данного вопроса не проводилось.

Для экспериментального подтверждения предположения о причинах расслоения лент, прокатанных из порошков, была проведена прокатка порошков никеля с дисперсными оксидами алюминия, циркония и гафния /3/.

Прокатку осуществляли в вертикальном направлении в валках диаметром 160 мм при ширине ленты 60 мм со скоростью 0,016 м/сек.

Изменением дуги контакта порошка с валками и раствора валков прокатаны ленты никеля с Al_2O_3 толщиной от 0,46 до 1,16 мм, плотностью 4,78 - 7,34 г/см³; с HfO_2 толщиной от 0,67 до 1,17 мм, плотностью 5,44 - 6,98 г/см³; с ZrO_2 толщиной от 0,68 до 1,19 мм, плотностью 5,28 - 6,98 г/см³.

Расслоение лент по толщине наблюдалось при их относительной плотности 0,76 - 0,81. У лент с большими и меньшими значениями плотности расслоение не отмечалось. На рис. 1 приведен образец расслоенной ленты.

Из рис. 1 видно, что плоскость расслоя разделяет ленту на две равные части, изгибающиеся в разные стороны. Такой изгиб может быть вызван остаточными напряжениями в полосе, возникающими в процессе формирования ленты из порошка.

Известно, что при прокатке металла в полосе возникают остаточные напряжения первого рода, эпюра которых представлена на рис.2. Неравномерность деформации по толщине полосы, в частности, более свободное течение внутренних слоев металла по сравнению с наружными, вызванное силами контактного трения в очаге деформации,

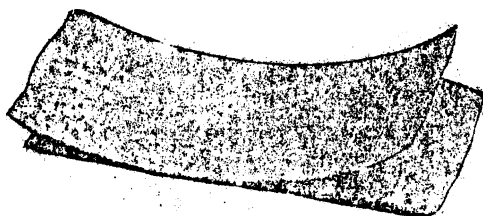


Рис. 1. Расслоение полосы, прокатанной из порошка дисперсно-упрочненного никеля.

приводит к тому, что в прокатанной полосе наружные слои испытывают остаточные растягивающие напряжения, а внутренние — сжимающие. Эти напряжения создают изгибающие моменты M , которые стремятся разделить полосу на две части и изогнуть эти части, как показано на рис. 2. При этом в центральных слоях полосы возникают напряжения растяжения, направленные перпендикулярно ее поверхности (по оси Z).

Расслоение ленты по толщине возникает при определенных соотношениях для каждого материала плотностей и толщин, когда возникающие остаточные напряжения σ_z превосходят прочность ленты в ее наиболее слабом месте, соответствующем пересечению линий скольжения очага формообразования и деформации.

В связи с этими рассуждениями представляют интерес остаточные напряжения, возникающие в сырой ленте после прокатки ее из

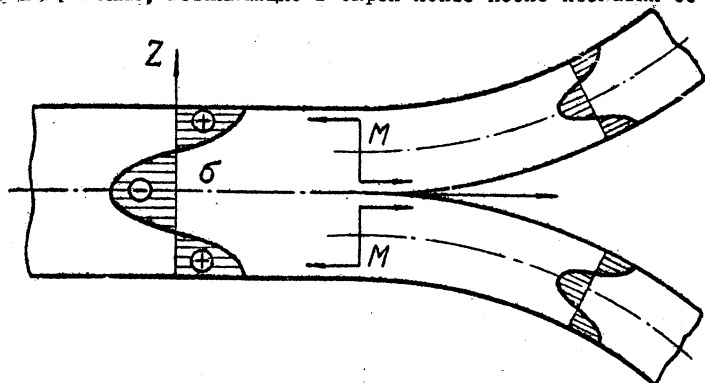


Рис. 2. Схема остаточных напряжений первого рода в нерасслоенной и расслоенной полосе и образование расслоения.

порошков.

Исследования проводили на дифрактометре УРС-50И-М с ионизационной регистрацией рентгеновских дифракционных максимумов. Скорость вращения счетчика составляла 0,25 град/мин, скорость движения бумаги - 1200 мм/час. В качестве источника излучения использовали рентгеновскую трубку ВСВ-6 с железным немонахроматическим характеристическим излучением.

Производили запись интерференционных линий $K\alpha$ - серии, отраженных от плоскостей 220 и 311 с углами отражения $51^{\circ}03'$ и $65^{\circ}45'$ соответственно. В качестве стандартного применяли образец, вырезанный из спеченной полосы того же материала, что и исследуемый.

Остаточные напряжения первого рода определяли по смещению дифракционных максимумов /4/ и рассчитывали по формуле:

$$G_1 + G_2 = \frac{E'}{\nu} \operatorname{ctg} \theta \frac{\Delta L}{2M} \cdot \frac{1}{5/3},$$

где

$G_1 + G_2$ - сумма главных остаточных напряжений первого рода;

$E' \nu$ - упругие постоянные материала прокатанной полосы;

θ - угол отражения Вульфа-Брэгга;

M - масштаб записи;

ΔL - смещение максимума интенсивности рентгеновской интерференционной линии в мм.

Упругие постоянные материала неспеченных полос определяли согласно рекомендациям, приведенным в работе /5/, по выражениям:

$$E' = 0,9E \cdot \gamma_{отн}^{3,7}; \quad \nu' = \nu \cdot \gamma_{отн},$$

где ν и E - упругие постоянные для компактного материала;

$\gamma_{отн}$ - относительная плотность прокатанной полосы.

Из каждой полосы вырезали два образца: один - в месте расщепления и другой - из участка нерасщепленной полосы. Отсчет расстояний на диаграммах производили от отметки, сделанной отметчиком углов поворота счетчика.

В таблице I приведены свойства полос, силовые параметры прокатки и величина остаточных напряжений первого рода, измеренных на поверхности расслоенных и нерасслоенных образцов. Из таблицы видно, что во всех случаях величина суммы главных остаточных напряжений первого рода у расслоенных образцов почти в два раза меньше, чем у нерасслоенных. Хорошая сходимость результатов определения величины остаточных напряжений, полученных по двум раз-

Таблица I

Свойства легт, силовые параметры прокатки и остаточные напряжения первого рода

№ опы-та	Обозначение дисперсно-упрочненного никеля	Толщина ленты, мм	Плотность ленты, г/см ³	Относительная плотность	Кэф. уплотнения $Z_T = \frac{\gamma}{\gamma_T}$	Максимальное удельное давление, кг/мм ²	Удельное прокатки, кн, Т	Кристаллографическая плоскость	Средний размер зерна ¹ , L, мм	Исследуемый образец ² , L, мм	Остаточные напряжения $G_1 + G_2$, кг/мм ²	Состояние образца
1	Ni 3% Al ₂ O ₃	1,16	6,84	0,782	2,78	74	27	311α	37,2	46,2	13,5	Неразслоенное
2								220α	49	54	13,3	—"
3								311α		42,5	7,8	Расслоенное
4								220α		51,7	7,4	—"
5	Ni 3% HfO ₂	1,05	6,98	0,783	2,15	57	19,4	311α	37,2	45,2	12,0	Неразслоенное
6								220α	49	53,5	12,2	—"
7								311α		41,7	6,8	Расслоенное
8								220α		51,5	6,9	—"
9	Ni 3% ZrO ₂	1,19	6,98	0,793	2,05	49	19,1	311α	37,2	44,7	11,8	Неразслоенное
10								220α	49	53,2	11,9	—"
11								311α		41,5	6,7	Расслоенное
12								220α		51,2	6,6	—"

¹ Величина L определялась как расстояние между отметкой, выполненной отметчиком углов поворота счетчика и максимумом интенсивности рентгеновской интерференционной линии.

личным плоскостям отражения, может служить критерием правильности произведенных расчетов.

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

При прокатке металлических порошков неравномерность деформации в очаге уплотнения и силы трения между прокатываемым материалом и валами обуславливают возникновение в прокатанной полосе остаточных напряжений, уравновешенных между отдельными слоями по толщине полосы. Наружные слои испытывают растягивающие напряжения, внутренние — сжимающие. Остаточные напряжения создают два изгибающих момента, которые стремятся изогнуть половинки полосы в разные стороны. В результате этого в центральных слоях полосы возникают растягивающие напряжения, величина которых имеет максимальное значение на средней плоскости полосы. Если прочность сцепления между частицами в этом сечении недостаточна, чтобы уравновесить действие изгибающих моментов, по средней плоскости полосы происходит разрушение и расслоение по следней.

Так как эпюра распределения остаточных напряжений первого рода по толщине полосы имеет криволинейный характер, а снимающаяся при расслоении часть напряжений распределена по прямой линии, расслоенные полосы получают остаточный прогиб и в них происходит перераспределение остаточных напряжений. При этом величина указанных напряжений на поверхности расслоенной полосы уменьшается.

Таким образом, остаточные напряжения первого рода, возникающие в полосе при прокатке металлических порошков, являются одной из причин образования расслоения полосы по толщине.

Л и т е р а т у р а

1. Северденко В.Д., Дожечников Е.Б., Шеламов В.А. Сб. трудов УП Всесоюзной научно-технической конференции по порошковой металлургии. Ереван, 1964.

2. Спинов В.А., Виноградов Г.А. "Перошковая металлургия", № 8, 1968.

3. С е в е р д е н к о В.П., Л о ж е ч и к о в Е.Б.,
Б а с к М.А. Известия АН БССР, Серия физико-технических наук,
№ 2, 1970.

4. Рентгенография в физическом металловедении. Под ред.
Ю.А.Багарицкого. М., 1961.

5. Ж д а н о в и ч Г.М. Теория прессования металлических
порошков. "Металлургия", М., 1969.