

УДК 621.791.92

Чигарев В.В.¹, Зареченский Д.А.²

**ОСОБЕННОСТИ НАГРЕВА И ПЛАВЛЕНИЯ ОБОЛОЧКИ С НАПОЛНИТЕЛЕМ
ПОРОШКОВОЙ ЛЕНТЫ ПРИ НАПЛАВКЕ ОТКРЫТОЙ ДУГОЙ, В ЗАВИСИМОСТИ
ОТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЕЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ**

Представлены результаты исследований влияния коэффициента заполнения, силы обжатия и скорости прокатки порошковой ленты при изготовлении на электросопротивление оболочки и наполнителя. Определены: характер нагрева оболочки и наполнителя на вылете электрода, особенности капельного переноса и полноту расплавления наполнителя на стадии капли.

Параметры изготовления порошковых лент, включая коэффициент заполнения, обуславливают сварочно-технологические свойства электрода и полноту расплавления наполнителя на стадиях капли и ванны [1 – 4].

Основным фактором, ограничивающим применение высокопроизводительных порошковых электродов для сварки и наплавки, является значительная разница в теплофизических характеристиках оболочки и порошкового наполнителя, что способствует отставанию плавления сердечника от оболочки и просыпанию частиц порошка в ванну. В опубликованных работах [1, 3, 5, 6], посвященных вопросам повышения эффективности нагрева и плавления сердечника порошкового электрода, определены пути снижения доли минуящего стадию капли наполнителя и повышения химической однородности наплавленного металла. Одними из возможных путей повышения степени нагрева наполнителя на вылете электрода служат: увеличение теплоотдающей поверхности металла оболочки и повышение температуры нагрева наполнителя [5, 6]. При изготовлении порошковой ленты достигнуть указанного можно за счет регулирования фракционного состава и насыпной массы порошка наполнителя, повышения степени его уплотнения путем изменения силы обжатия в двухвалковой клетки стана и скорости прокатки. Предыдущими исследованиями установлено, что параметры прокатки порошковых лент при изготовлении влияют на равномерность плавления оболочки и наполнителя [4, 7].

При прокатке на стане порошковой ленты в клетки с двумя обжимными вальками, имеющими насечку, происходит вдавливание выступов их профиля в оболочку, что совместно с растягивающими напряжениями прокатки, пластически ее деформирует. При этом, в зависимости от режимов прокатки, изменяется плотность контакта между частицами порошкового наполнителя и степень деформации оболочки. Совокупность процессов пластической деформации оболочки, уплотнения порошкового наполнителя и плотности их совместного контактирования, влияют на электрическое сопротивление электрода, условия прохождения сварочного тока и нагрев на вылете джоулевым теплом [2, 5 – 10].

Целью настоящей работы являлось: определение характера нагрева и плавления оболочки с наполнителем порошковой ленты при регулировании коэффициента заполнения, силы обжатия и скорости прокатки в процессе изготовления.

Для исследований изготавливалась однозамковая порошковая лента, состоящая из оболочки 08КП $\delta = 0,3$ мм и порошка комплексно-легированного сплава ПГ-Л101 фракцией 0,315 мм (С – 6 %; Cr – 53 %; Ni – 3,0 %, Mn – 3 %, Si – 10 %). Регулируемыми параметрами изготовления являлись: коэффициент заполнения порошковой ленты ($K_z = 40 - 60$ %), сила обжатия ($F_{обж} = 10 - 30$ кН) и скорость прокатки ($V_{прок} = 60 - 180$ м/ч).

¹ПГТУ, д-р техн. наук, проф.

²ОАО «ГСКТИ», инж.

При выполнении экспериментов использовали метод математического планирования и статистическую обработку результатов. Измерение электрического сопротивления оболочки и наполнителя, считая их параллельно включенными проводниками, выполняли с помощью «Магазина сопротивлений «Р-33»³. Сопротивления оболочки $R_{об}$ и сердечника $R_{ш}$ определяли по правилам первого и второго законов Кирхгофа.

По результатам замеров построены гистограммы рис.1 и определены уравнения регрессии при совместном влиянии регулируемых параметров на $R_{об}$ и $R_{ш}$:

$$R_{об} = 1,26 + 0,02 F_{обж} + 0,01 V_{прок} - 0,02 Kз - 0,01 F_{обж} V_{прок} + 0,02 F_{обж} Kз - 0,01 F_{обж} V_{прок} Kз [МОм/см]$$

$$R_{нап} = 287,67 - 3,39 F_{обж} - 3,37 F_{обж} Kз [МОм/см];$$

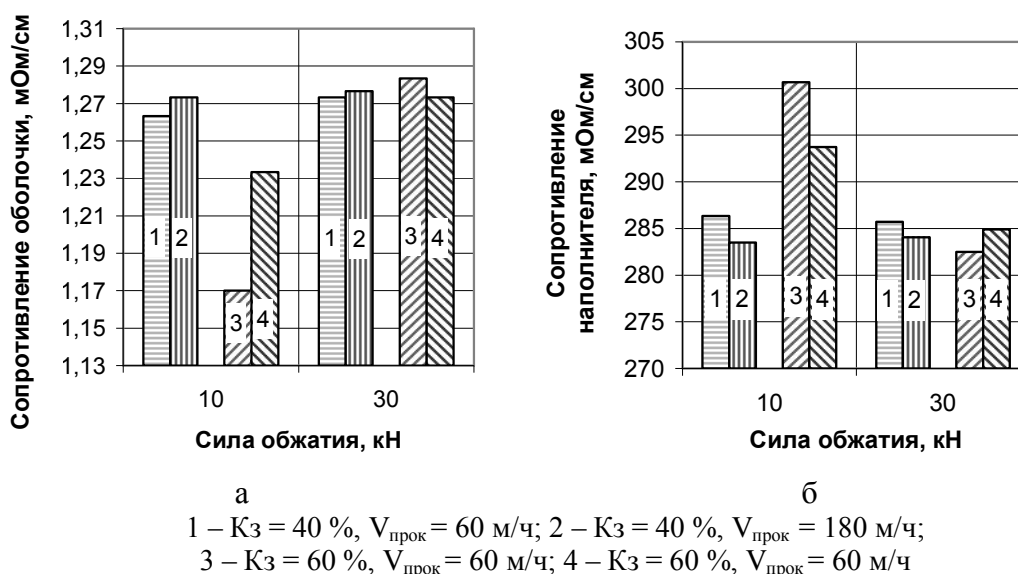


Рис. 1 – Влияние параметров изготовления порошковых лент на электросопротивление оболочки (а) и наполнителя (б)

Установлено, что при увеличении степени обжатия порошковой ленты и уменьшении коэффициента заполнения происходит утонение оболочки и повышается плотность контакта между частицами наполнителя. Это приводит к увеличению сопротивления оболочки и снижению сопротивления сердечника.

Увеличение электросопротивления оболочки порошковой ленты будет способствовать большему ее нагреву джоулевым теплом на вылете электрода [8 – 10]. Углубление ячеек рифлений оболочки в наполнитель увеличивает теплоотдающую поверхность, что совместно с уплотнением наполнителя и повышением его теплопроводности, повлияет на полноту расплавления наполнителя на стадии капли.

Для определения доли наполнителя, переходящего через стадию капли, выполняли наплавку на быстровращающийся графитовый диск. Электродные капли собирали в ванну калориметра [1]. Плавление лент выполнено на подвесном самоходном автомате АД – 231 при постоянных параметрах режима: $I = 500 - 550$ А (обратная полярность), $U_d = 28 - 30$ В; вылет электрода – 40 мм. Отобранные капли отсеивали по фракционному составу, определяли их относительную массу и содержание элементов индикаторов (Cr, Ni) в каплях каждой фракции (химическим анализом).

Расчет доли расплавленного наполнителя на стадии капли и доля его расплавления в каплях каждой фракции, определены по формуле [2]:

³В работе принимали участие инж. В.И. Бобиков и В.В. Воробьев

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_{\text{кап}}(1 - K_3)}{\eta \varepsilon_{\text{ш}} - \varepsilon_{\text{кап}} K_3}$$

где ε – доля наполнителя, расплавленная каплями;

$\varepsilon_{\text{кап}}$ – содержание элемента-индикатора в капле, %;

$\varepsilon_{\text{ш}}$ – содержание элемента-индикатора в наполнителе порошковой ленты, %;

η – коэффициент перехода элемента-индикатора из наполнителя в каплю [2];

K_3 – коэффициент заполнения порошковой ленты.

Общая доля наполнителя, переходящая с каплями различной фракции при плавлении, рассчитана по правилу адитивности. Полученные результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты экспериментальных данных

Сила обжатия, кН	Скорость прокатки, м/ч	Относительное количество капель и средняя доля наполнителя (по Cr и Ni), расплавленная каплями												Масса капель d < 0,2, г
		d _к > 2,5 мм				d _к = 2,5 – 0,4 мм				d _к = 0,4 – 0,2 мм				
		q _i	Ni	Cr	ε _{ср}	q _i	Ni	Cr	ε _{ср}	q _i	Ni	Cr	ε _{ср}	
K ₃ = 40 %														
10	60	56	1,7	35	0,61	32	1,3	36	0,55	12	1,8	40	0,71	6,5
30		32	1,2	25	0,46	55	0,8	30	0,49	13	1,5	37	0,76	8,5
10	180	65	0,9	25	0,42	28	0,6	32	0,50	7	1,6	38	0,77	9,4
30		67	1,0	26	0,40	25	0,8	33	0,50	8	1,3	37	0,65	10,3
K ₃ = 60 %														
10	60	58	1,1	29	0,36	32	0,8	39	0,50	10	2,0	45	0,92	14
30		68	0,4	28	0,24	24	1,6	37	0,53	8	2,1	48	0,96	18,5
10	180	67	1,5	30	0,45	24	1,7	41	0,71	9	2,3	47	0,99	12
30		44	1,2	29	0,35	39	1,8	34	0,52	17	2,0	44	0,81	16,6

Примечание: q_i – относительная масса капель указанного диаметра.

Расплавление порошкового наполнителя каплями диаметром более 0,4 мм, как показывают данные, снижается при увеличении его плотности и коэффициента заполнения, что вероятно обусловлено интенсификацией отвода тепла наполнителем в электрод и меньшим проникновением в менее пористый наполнитель каплей расплавленного электродного металла. Более теплоемкий наполнитель не полностью плавится в каплях и переходит нерасплавленным в ванну. Подтверждением этого служат капли диаметром менее 0,2 мм и их химический состав, которые по результатам химического анализа практически на 100 % состоят из порошка наполнителя. Наиболее легированными каплями при плавлении порошковых лент, являются капли фракцией 0,4 – 0,2 мм, которые, очевидно, отделяются с выступающей части наполнителя на торце электрода.

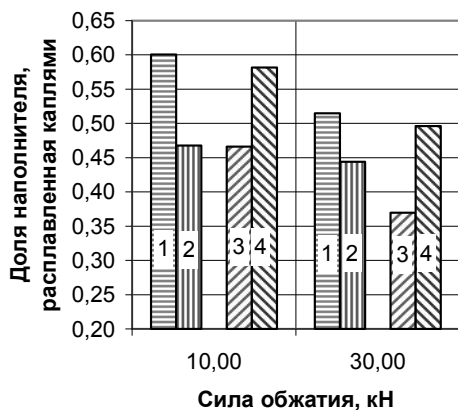


Рис. 2 – Влияние параметров изготовления порошковых лент на долю расплавленного каплями наполнителя

На рис. 2 представлена гистограмма влияния коэффициента заполнения, силы обжатия и скорости прокатки на долю наполнителя, расплавленного каплями (обозначения см. на рис. 1). Заслуживает внимания результат, полученный при плавлении порошковой ленты с K₃ = 60 %, изготовленной при скорости прокатки 180 м/ч. В данном случае, оказывает влияние плотность контакта между оболочкой и наполнителем, при увеличении которого эффективнее передается тепло в наполнитель на вылете электрода. Увеличение теплосодержания наполнителя снижает градиент температур при его оплавлении в зоне горения дуги и благоприятствует более полному его расплавлению.

Значительная пластическая деформация оболочки порошковой ленты с $K_z < 40 \%$, изготовленной при идентичных параметрах прокатки, приводит к ее перегреву на вылете электрода и нарушению стабильности дугового процесса, ввиду ее местного коробления и оплавления, что отрицательно сказывается на расплавлении наполнителя каплями.

Учитывая приоритет применения для наплавки высоколегированных сплавов порошковых лент с $K_z = 50 - 60 \%$, и целесообразность их изготовления с силами обжатия выше 25 кН (повышение стабильности дугового процесса и снижение потерь на разбрызгивание [4]), увеличить количество наполнителя, переходящего через стадию капли, можно за счет введения в наполнитель дополнительных источников тепла и увеличения скорости прокатки при изготовлении. Перспективным в указанном направлении является использование теплового эффекта окислительно-восстановительных реакций экзотермических смесей.

Выводы

1. Снижение K_z порошковой ленты и увеличение силы обжатия при прокатке, повышают электросопротивление и нагрев оболочки с наполнителем на вылете электрода.
2. Доля расплавленного каплями наполнителя с ростом обжатия порошковой ленты до 30 кН снижается на 5 – 16 % за счет уплотнения частиц порошка, повышения его теплопроводности и снижения интенсивности конвективной передачи тепла от расплавленных капель наполнителю.
3. Увеличить степень расплавления наполнителя порошковой ленты (с $K_z = 50 - 60 \%$) на стадии капли, можно за счет введения в наполнитель экзотермических смесей и увеличения скорости прокатки при изготовлении.

Перечень ссылок

1. *Ерохин А.А.* Кинетика металлургических процессов дуговой сварки / *А.А. Ерохин.* – М.: Машиностроение, 1964. – 256с.
2. *Пацкевич И.Р.* Особенности легирования металла при наплавке порошковой лентой / *И.Р. Пацкевич, Л.А. Хейфец* // Автоматическая сварка. – 1970. – № 2. – С. 13 – 15.
3. *Николаенко М.Р.* Перенос электродного металла и однородность свойств наплавленного слоя при наплавке порошковым ленточным электродом на форсированных режимах / *М.Р. Николаенко, Л.Д. Кузнецов,* // Сварочное производство. – 1976. – № 6. – С. 33 – 35.
4. *Чигарев В.В.* Влияние режимов прокатки однозамковой порошковой ленты на сварочно-технологические свойства и характер ее плавления / *В.В. Чигарев, Д.А. Зареченский* // Вісник Призов. Держ. техн. ун-ту: Зб. наук. пр. – Маріуполь, – 2008. – Вип. № 18. – С. 166 – 169
5. *Кирилюк Г.А.* Особенности нагрева и плавления сердечника порошковой проволоки при различных конструкциях ее оболочки / *Г.А. Кирилюк* // Автоматическая сварка. – 1989. – № 7. – С. 74 – 75.
6. *Юзвенко Ю.А.* Модель плавления самозащитной порошковой проволоки / *Ю.А. Юзвенко, Г.А. Кирилюк, С.Ю. Кривчиков* // Автоматическая сварка. – 1983. – № 1. – С. 26 – 29.
7. *Чигарев В.В.* Влияние степени деформации порошковой ленты при прокатке на показатели ее плавления / *В.В. Чигарев, П.Ф. Лаврик* // Сварочное производство. – 1980. – № 6. – С. 17 – 18.
8. *Самсонов И.Г.* Электросопротивление и нагрев порошковой проволоки / *И.Г. Самсонов, Н.В. Королев* // Сварочное производство. – 1981. – № 11. – С. 7 – 9.
9. *Рейн Р.О.* О нагреве порошковой проволоки при сварке / *Р.О. Рейн, Б.А. Смирнов* // Сварочное производство. – 1971. – № 2. – С. 32 – 33.
10. *Безбах Д.К.* Исследование параметров нагрева и плавления порошковой проволоки / *Д.К. Безбах* // Автоматическая сварка. – 1965. – № 5. – С. 29 – 31.

Рецензент: С.В. Гулаков
д-р техн. наук, проф., ПГТУ

Статья поступила 05.05.2009