

УДК 621.771.63

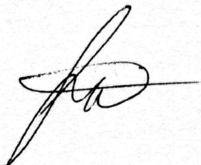
На правах рукописи

Дзудза Максим Вадимович

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ
ПРОИЗВОДСТВА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ**

05.02.09 - Технологии и машины обработки давлением

**АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**



Москва - 2012

Работа выполнена в Московском государственном техническом университете
им. Н.Э. Баумана.

Научный руководитель -

Лушников Виктор Михайлович
кандидат технических наук, доцент

Официальные оппоненты:

Чиченев Николай Алексеевич
доктор технических наук, профессор
НИТУ «МИСиС», профессор

Пунин Владимир Иванович
кандидат технических наук
ООО «Ролтяжмаш», главный инженер

Ведущая организация -

ОАО АХК ВНИИМЕТМАШ
им. академика А.И. Целикова

Защита диссертации состоится «14» ноября 2012 г. в 14 ч. 30 мин. на
заседании диссертационного совета Д 212.141.04 при Московском
государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана по адресу:
105005, г. Москва, 2-ая Бауманская, 5.

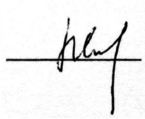
Ваш отзыв на автореферат в двух экземплярах, заверенных печатью,
просим высылать по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГТУ
им. Н.Э. Баумана.

Телефон для справок: 8 (499) 267-09-63.

Автореферат разослан «10» октября 2012 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
К.Т.Н., доцент



Семенов В.И.

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



2011405

Дзудза М.В. Совершенствован

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Одной из первостепенных задач развития промышленности является поиск новых ресурсосберегающих технологий. В металлургии к таким технологиям относится обработка жидкой стали порошковой проволокой в разливочном ковше.

Порошковая проволока представляет собой тонкостенную трубку из стали марок 08кп, 08пс или 08Ю толщиной 0,2...0,5мм, заполненную сыпучим реагентом. В качестве реагентов, в зависимости от вида обработки, применяются порошки силикокальция, магния, графита, серы, алюминия, лигатуры РЗМ, ферросплавы и другие (более 50 видов). Оболочка служит защитой реагента от воздействия влаги и других веществ при транспортировке и хранении, а также предохраняет реагент от соприкосновения с жидким металлом при перемещении порошковой проволоки ко дну разливочного ковша.

За последнее десятилетие отмечается рост предприятий, применяющих и выпускающих порошковую проволоку. Одновременно к качеству порошковой проволоки предъявляются повышенные требования в направлении увеличения плотности порошкового наполнителя и равномерности его распределения по сечению. В то же время известные методы повышения плотности наполнителя основаны на пластической деформации оболочки по диаметру и сопровождаются вследствие наклепа снижением ее пластических свойств. При этом ухудшаются эксплуатационные характеристики готовой проволоки, которая претерпевает в процессе своего жизненного цикла многочисленные знакопеременные деформации в ходе смотки-размотки, плющения в валках трайб-аппарата и др. Эти деформации часто приводят к нарушению целостности наклепанной оболочки и высыпанию порошкового реагента.

Важным направлением, связанным с производством порошковой проволоки, является совершенствование технологического оборудования и технологии изготовления. К оборудованию предъявляются требования по повышению производительности и надежности работы, уменьшению его металло- и энергоемкости и расходов на обслуживание. Технология производства порошковой проволоки также нуждается в использовании таких приемов, которые позволят достигать большего уплотнения наполнителя и, одновременно, не повышать наклеп оболочки.

Таким образом, проблема выбора рационального профиля порошковой проволоки, совершенствования технологии ее изготовления и разработки новых конструкций оборудования, обеспечивающих повышение качества, уменьшения металлоемкости и энергоемкости является актуальной научно-технической задачей.

Цель и задачи работы. Целью настоящей работы является повышение качества порошковой проволоки, снижение металлоемкости и энергоемкости оборудования для ее производства.

М. П. В. А. У. Б. А. У. М. А. Н. А.
БИБЛИОТЕКА

Для достижения указанной цели в работе решались следующие задачи:

1. Определение критериев качества порошковой проволоки и разработка принципов проектирования технологии и оборудования для ее изготовления.

2. Исследование энергосиловых параметров процесса изготовления металлургической порошковой проволоки и разработка инженерной методики расчета сил, возникающих в технологическом оборудовании.

3. Разработка и испытание эффективного редуцирующего инструмента, позволяющего обеспечить более высокую плотность и равномерность распределения наполнителя в оболочке.

4. Проведение испытаний по оценке эксплуатационных свойств порошковой проволоки разных видов профилей и определение их соответствия критериям качества.

5. Разработка технологических и технических решений для производства порошковой проволоки повышенного качества.

Методы исследований. В теоретических исследованиях при анализе поведения деформируемой оболочки, наполненной порошком, использованы положения континуальной теории пластичности, теории прокатки порошковых и монолитных материалов. Экспериментальные исследования по определению силовых параметров процессов прокатки и волочения порошковой проволоки, а также эксплуатационных свойств готового изделия проводились в лаборатории кафедры «Оборудование и технологии прокатки». Технологические свойства порошков исследовались в лаборатории прочности Демонстрационного испытательного центра НУК МТ МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Достоверность результатов исследований обеспечивалась применением стандартных методов и приспособлений с использованием современных приборов и средств измерений. Обоснованность теоретических выводов подтверждена экспериментальными данными, полученными лично соискателем.

Апробация работы. Результаты исследований докладывались и обсуждались на Всероссийском научно-практическом семинаре «Влияние идей академика А.И. Целикова на качество инженерного образования МГТУ им. Н.Э. Баумана» (2010 г.), на III и IV Всероссийских конференциях молодых ученых и специалистов «Будущее машиностроения России» (2010-2011 г.г.), на II Международной научно-практической конференции «Наука и просвещение» (2011).

По результатам конкурсов за лучшую научную работу получены дипломы на III и IV Всероссийских конференциях молодых ученых и специалистов «Будущее машиностроения России» (2010-2011 г.г.) и на XVII Международной промышленной выставке «Металл - Экспо 2011».

Научная новизна

1. Экспериментально получены новые зависимости сопротивления деформированию порошков силикокальция, ферросилиция, ферротитана, графита при прессовании в закрытой матрице.

2. Получены новые теоретические зависимости для определения силы деформирования при прокатке порошковой проволоки в калибре.

3. Экспериментально определена зависимость тянущей силы волочения порошковой проволоки в трезубой волоке от плотности порошкового наполнителя.

4. Разработана научно-обоснованная методика расчета энергосиловых параметров процесса изготовления порошковой проволоки.

Практическая значимость

1. Предложен эффективный способ обжатия порошковой проволоки и новый редуцирующий инструмент для его осуществления в виде трезубой волоки, позволяющий повысить степень уплотнения порошкового силикокальциевого наполнителя до значения 0,86. При этом по сравнению с промышленными образцами проволоки значения эксплуатационных свойств при испытаниях на перегиб повысились от 5 до 28% и на кручение от 11 до 58%.

2. Предложена новая схема технологической линии для производства порошковой проволоки, позволяющая уменьшить металлоемкость оборудования в среднем на 27% и энергоемкость на 45%.

Реализация результатов работы. Результаты работы в виде конструкторских и технологических рекомендаций приняты ЗАО «Тенакс Инжиниринг» для использования при модернизации существующих линий ЛПП 8-17.

Публикации. Основное содержание диссертации отражено в 10 научных работах, в том числе - 6 статей в центральных рецензируемых журналах.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка литературы из 103 наименований. Работа содержит 142 страницы машинописного текста, 53 рисунка и 19 таблиц.

ОБЩЕЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность проведенных исследований, сформулированы цели и задачи работы, определены ее научная новизна и практическая значимость.

В первой главе «Применение и производство порошковой проволоки металлургического назначения» рассмотрены внепечные способы обработки расплава порошкообразными реагентами, показаны преимущества ввода порошковой проволоки.

Выполнен патентный обзор конструкций металлургической порошковой проволоки и линий для ее производства, проанализированы основные достоинства и недостатки. Выявленные тенденции позволили установить, что наибольшее распространение получила круглая проволока с горизонтальным фальцевым замком вследствие удобства при статической и динамической размотке. Совершенствование конструкции порошковой проволоки прослеживается в направлении развития таких элементов как

гофр или стопорящий порожек, позволяющих повысить надежность замкового соединения от раскрытия. Эффективным способом увеличения плотности порошка и снижения наклепа оболочки является формирование продольных зиггов.

Проведенный анализ технологии и оборудования для производства порошковой проволоки показал ряд недостатков, связанных с наличием большого числа операций формовки и малоэффективных схем редуцирования. Они не позволяют достигнуть высокой плотности и равномерного распределения наполнителя, не понижая при этом пластические свойства оболочки и не увеличивая размеры исходной ленты.

При проектировании оборудования для производства порошковой проволоки, в котором операции подпрессовывания порошка и редуцирования проволоки ведутся прокаткой, отсутствуют инженерные методы расчета энергосиловых параметров линии. Отсутствие таких методов приводит к неоправданному завышению мощности электродвигателей, так как за прототип, как правило, берутся уже готовые конструкции линий для производства тонкостенных полых профилей.

В работе выбраны и обоснованы теоретические подходы, которые можно применить для определения сил, возникающих при деформировании порошковой проволоки. Однако они нуждаются в проверке, так как основаны на наличии пластических свойств у порошков, в то время как в качестве наполнителей порошковой проволоки применяются хрупкие малопластичные порошки.

Вторая глава «Исследование возможностей модернизации технологии и оборудования для производства порошковой проволоки» посвящена выявлению резервов для совершенствования в технологическом и конструкторском направлениях. Рассмотрен жизненный цикл металлургической порошковой проволоки от момента ее производства до растворения в жидком металле. Выявлено, что оболочка проволоки на каждом этапе подвергается многочисленным изгибным и крутильным деформациям. На основании проведенного анализа сформулированы следующие критерии, которым должна соответствовать качественная металлургическая порошковая проволока:

- максимально возможная плотность наполнителя (выше значений насыпной относительной плотности не менее чем на 0,2-0,3);
- равномерность распределения наполнителя по сечению проволоки;
- максимально возможное приближение формы профиля проволоки к форме круга;
- пластичность оболочки, достаточная для сопротивления разрушению;
- надежность замкового соединения, обеспечивающая герметичность оболочки и устойчивость от раскрытия при перекручивании, изгибе, сплющивании.

Рассмотрены подходы к определению зависимостей уплотнения от деформационного и силового факторов. Определено, что вытяжка при редуцировании порошковой проволоки отрицательно сказывается не только на пластические свойства оболочки, но и на степень уплотнения порошкового наполнителя.

В лаборатории прочности Демонстрационного испытательного центра НУК МТ МГТУ им. Н.Э. Баумана проведены исследования технологических свойств порошковых наполнителей СК30, ФС75, ФТи70 и С с размером фракции 0...1,6мм. Значения насыпной плотности порошков определялись по ГОСТ 19440-94 на волюмометре Скотта (Таблица 1).

Таблица 1.

Насыпная и относительная насыпная плотность порошков			
Марка порошка	ГОСТ	Насыпная плотность, г/см ³	Относительная насыпная плотность
Силикокальций СК30	4762-71	1,27...1,32	0,52
Ферросилиций ФС75	1415-93	1,49...1,54	0,43
Ферротитан ФТи70	4761-91	2,18...2,24	0,36
Графит С	5420-74	0,69...0,76	0,33

Исследования по определению уплотняемости порошков проводились, используя ГОСТ 25280-90, в закрытой матрице на испытательной машине ИР 5143-200. Выявлено, что для порошковой проволоки оптимальные значения относительной плотности порошков соответствуют давлению прессования 10-200МПа (рис.1). Порошковая масса здесь еще не представляет собой жесткую конструкцию частиц, лишенных возможности относительного перемещения.

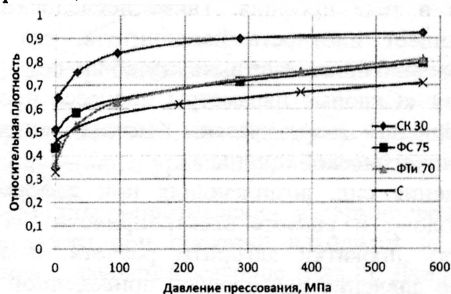


Рис.1. Зависимость относительной плотности от давления прессования порошков СК30, ФС75, ФТи70 и С

Для проверки возможности применения континуальной теории для описания поведения малопластичных порошков выполнен сравнительный

анализ с экспериментом по уплотнению в закрытой матрице. Сравнения проводились на одном из наиболее применяемых наполнителей силикокальции марки СК30. Составлена физическая модель нагружения и получено уравнение для расчета давления σ_1 (МПа), возникающего при прессовании порошка в закрытой матрице:

$$\sigma_1 = 25,7 \cdot \sqrt{\frac{1 + 4 \cdot 1,063 \cdot (1 - \gamma)^{1,82}}{1,063 \cdot (1 - \gamma)^{1,82}}} \cdot \gamma^{6,18}, \quad (1)$$

где γ - относительная плотность порошка СК30.

Установлено, что расхождения с экспериментальными значениями в интервале относительных плотностей 0,59-0,8 достаточно велико и применение данного подхода неприемлемо.

Сформулированы принципы более рационального формообразования и редуцирования порошковой проволоки и предложена усовершенствованная технологическая схема линии. В соответствии с данными принципами при проектировании необходимо стремиться к тому, чтобы обеспечить максимальное снижение числа проходов. При этом клетки должны быть однотипными, а их прочностной расчет следует вести по клетки, испытывающей максимальные нагрузки. Калибровка должна обеспечивать устойчивое формирование профиля и не приводить к нарушению целостности оболочки. Проходы должны приводить к минимальному наклепу. Формирование готового профиля порошковой проволоки должно сопровождаться максимальным внедрением рабочего инструмента в профиль проволоки.

По предложенной схеме в семи клетях происходит формирование круглой заготовки порошковой проволоки с горизонтальным фальцевым замком и подпрессовка порошка в ней. Редуцирование заготовки осуществляется в трезубой волоке за счет формирования трех глубоких продольных зигов в теле профиля. Такая последовательность операций существенно повышает плотность наполнителя, его равномерность по сечению и одновременно исключает вытяжку оболочки.

Третья глава «Силовые параметры процесса прокатки порошковой проволоки» посвящена теоретическим исследованиям энергосиловых характеристик технологической линии.

Для определения сил, возникающих при деформировании круглой порошковой проволоки и расчете электропривода клеток использовался принятый в теории прокатки алгоритм расчета. Вначале определяется среднее контактное давление для плоской приведенной полосы. Затем для перехода к круглому профилю его значение умножается на коэффициент формы калибра. После чего находится сила прокатки, момент прокатки и мощность.

С учетом вышеизложенного, для исследования плоской порошковой полосы в оболочке были приняты следующие допущения:

1. Сила трения на контакте валок-оболочка пропорциональна контактному давлению. Значение коэффициента трения принято равным значению коэффициента при холодной прокатке без смазки стали 08кп.

2. Ввиду пренебрежительно малой протяженности зоны опережения, считаем, что всю дугу захвата занимает зона отставания.

3. Принято, что в балансе общего сопротивления деформированию композиции «оболочка - порошковый наполнитель» доля сопротивления оболочки незначительна.

Используя существующие подходы для определения контактного давления при прокатке порошков и монолитных материалов, основанные на решении уравнения равновесия сил в очаге деформации, получена теоретическая зависимость для расчета среднего контактного давления при прокатке плоской порошковой проволоки (рис.2):

$$p_{cp} = \gamma' \cdot \sigma_{\phi} \cdot \frac{h_1 \cdot \operatorname{tg}(\alpha/2)}{\Delta h \cdot \mu} \cdot \left(\left(\frac{h_0}{h_1} \right)^{\frac{\mu}{\operatorname{tg}(\alpha/2)}} - 1 \right), \quad (2)$$

где σ_{ϕ} - сопротивление деформированию порошка, $\gamma' = 1,15$ - коэффициент, учитывающий влияние среднего главного напряжения (уширение при прокатке в калибрах отсутствует), μ - коэффициент трения, α - угол захвата полосы валками, h_0 и h_1 - размер образца до и после обжатия, Δh - абсолютное обжатие.

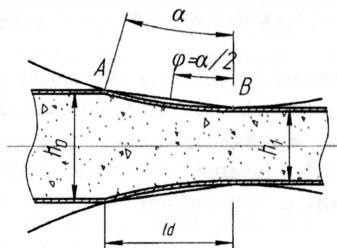


Рис.2. Схема прокатки плоской порошковой проволоки

Главной характеристикой, отображающей свойства порошкового наполнителя для полученного уравнения, является величина σ_{ϕ} . Принято, что зависимость величины сопротивления деформированию наполнителя от относительной плотности при прокатке находится из экспериментов по уплотнению порошка в закрытой матрице (рис.1). Данная зависимость для порошка СК30 описана с достоверностью $R^2 = 0,99$ следующим эмпирическим уравнением:

$$\sigma_{\phi} = 1167\gamma^2 - 1337\gamma + 380, \quad (3)$$

где γ - относительная плотность порошка СК30.

Уравнение (2) проверено экспериментально путем прокатки плоской порошковой проволоки с наполнителем СК30 (рис.3,а). Исследования проводились в лаборатории кафедры «Оборудование и технологии прокатки» МГТУ им. Н.Э.Баумана. Прокатка проводилась со скоростью 4м/мин на одноклетьевом двухвалковом прокатном стане 160 с гладкой бочкой. Силы прокатки определялись методом тензометрирования при помощи месдоз с максимально возможной нагрузкой 20кН.

Размеры образцов: высота 13мм, ширина 15мм, длина 100мм. Среднее значение относительной плотности порошка в оболочке $\gamma_0=0,55$. Чтобы избежать уширения в процессе прокатки, на боковых гранях образцов были выполнены продольные зиги треугольной формы с углом между стенками $\beta=60^\circ$. В процессе прокатки зиги сжимались до высоты, при которой угол между зигами был равен 0° . Исходя из этого, подобраны следующие обжатия образцов по высоте в трех проходах: 2мм, 2мм, 1мм.

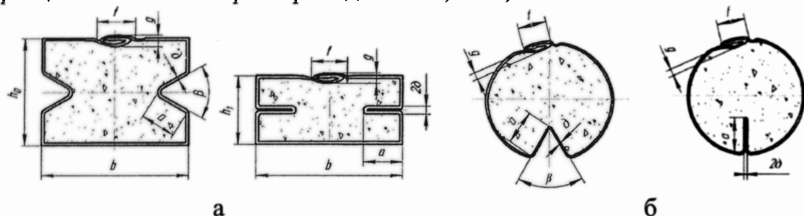


Рис.3. Поперечное сечение образцов порошковой проволоки до и после прокатки: а - плоский образец, б - круглый образец

На рис.4 представлены результаты исследований по прокатке плоских образцов в виде зависимости контактного давления от относительной плотности наполнителя. Кривая получена расчетом по формуле (2), а точками на графике обозначены опытные данные. Установлено, что погрешность расхождения с экспериментом в данном случае не превышает 10,6%.

Определение среднего контактного давления при прокатке круглой порошковой проволоки в калибре осуществлялось по уравнению: $p_{cp} = n_k \cdot p'_{cp}$. Коэффициент калибра n_k находился путем сравнения значений контактного давления при прокатке плоского образца на гладкой бочке и соответствующих значений при прокатке круглого образца в калибре.

Прокатка круглого образца порошковой проволоки производилась на одноклетьевом прокатном стане 160 в калиброванных валках. Скорость прокатки составила 4м/мин. Размеры образцов: длина 200мм, ширина 14,2мм, высота 12мм. Относительная плотность порошка СК30 в образцах различалась $\gamma_0=0,54-0,63$. Чтобы избежать вытяжки проволоки при прокатке, напротив замкового соединения в профиле оболочки был выполнен продольный зиг с углом между стенками $\beta=60^\circ$ (рис.3,б).

Обжатие проволоки осуществлялось в круглом калибре диаметром 12мм за счет сведения стенок зига до угла $\beta=0^\circ$.

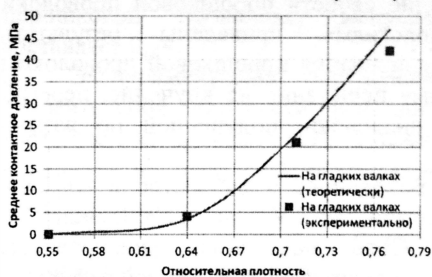


Рис. 4. Изменение относительной плотности от контактного давления при прокатке плоских образцов с силикокальцием

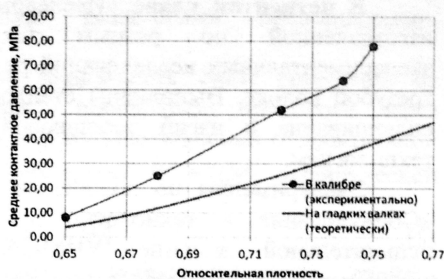


Рис. 5. Изменение относительной плотности от контактного давления при прокатке порошковой проволоки в калибре и на гладких валках

На рис.5 представлена экспериментальная зависимость контактного давления от относительной плотности наполнителя при прокатке круглых образцов в калибре и теоретическая зависимость, полученная по уравнению (2) для обжатых на гладких валках плоских образцов. Их сопоставление показывает, что коэффициент калибра n_k лежит в интервале значений 1,88-2,08.

Таким образом, полное уравнение расчета среднего контактного давления при прокатке порошковой проволоки в калибре с учетом уравнений (2) и (3) приняло вид:

$$p_{cp} = 2,3 \cdot (1167\gamma^2 - 1337\gamma + 380) \cdot \frac{h_1 \cdot \operatorname{tg}(\alpha/2)}{\Delta h \cdot \mu} \cdot \left(\left(\frac{h_0}{h_1} \right)^{\frac{\mu}{\operatorname{tg}(\alpha/2)}} - 1 \right). \quad (4)$$

На основании проведенных исследований создана инженерная методика расчета энергосиловых параметров прокатки порошковой проволоки. Методика содержит следующие основные этапы расчета:

- определение по данным калибровки исходных параметров порошковой проволоки, приведенных к прямоугольному сечению полосы и расчет характеристик очага деформации;
- определение сопротивления деформированию порошкового наполнителя, расчет среднего контактного давления при прокатке плоской порошковой проволоки и переход с помощью коэффициента калибра к прокатке круглой проволоки;
- определение силы прокатки, момента прокатки и мощности электропривода.

Выполненные по данной методике расчеты для порошковой проволоки с силикокальциевым наполнителем показали, что, в соответствии с предлагаемой технологической схемой производства, сила прокатки не

превышает 3,3кН, а для привода формовочно-редуцирующего блока клетей достаточно одного мотор-редуктора мощностью 2,2кВт.

В четвертой главе «Исследование свойств порошковой проволоки, изготовленной по разным технологиям» приведены результаты экспериментальных исследований редуцирования порошковой проволоки в трезубой волоке. Выполнены стендовые испытания на кручение, перегиб, сплющивание и изгиб порошковой проволоки, полученной по разным технологиям.

Эксперименты по волочению проводились в лаборатории кафедры «Оборудование и технологии прокатки» МГТУ им. Н.Э.Баумана на испытательной машине УИМ-50. Сила волочения фиксировалось силоизмерительным устройством. Заготовки круглой порошковой проволоки диаметром 16мм и длиной 1200мм были заполнены наполнителем СК30 с начальной относительной плотностью $\gamma_0 = 0,56, 0,64$ и $0,72$.

Для редуцирования разработана и изготовлена круглая монолитная волока с трезубым профилем внутри (рис.6). Поперечное сечение волоки выполнено таким образом, что в процессе протяжки проволоки в контакт с оболочкой вступают три зуба, образуя внутри профиля оболочки три глубоких зига (рис.7,а). При этом остальная поверхность оболочки не контактирует с поверхностью волоки. Один из зигов, расположенный вблизи фальцевого замка, предназначен также для удержания замка от раскрытия.

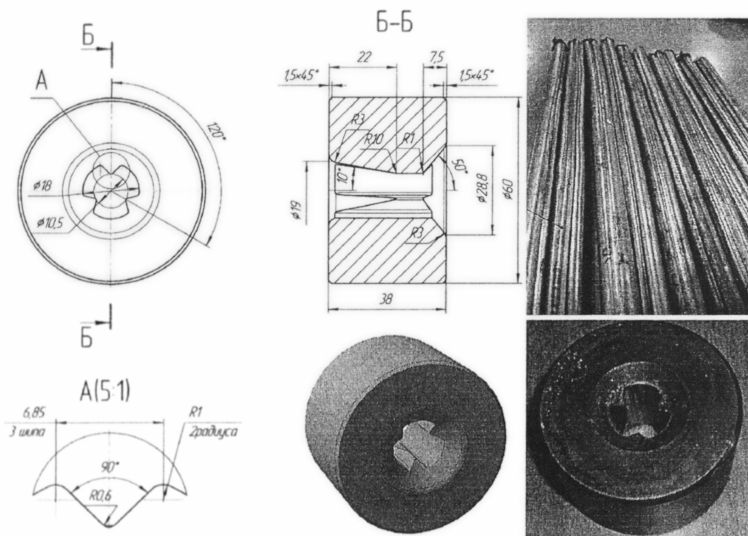


Рис. 6. Трезубая волока и полученные образцы порошковой проволоки

В результате волочения изменение площади поперечного сечения внутри оболочки составило 22%. Вытяжки заготовки при таком способе редуцирования не происходит. Таким образом, получена порошковая

проволока диаметром 15мм с относительной плотностью наполнителя 0,86. Для сравнения, значение средней относительной плотности силикокальция в порошковой проволоке, выпускаемой различными предприятиями, составляет 0,74.

Экспериментально определенная зависимость силы волочения от относительной плотности наполнителя порошковой проволоки через трезубую волоку может быть описана в диапазоне значений относительной плотности от 0,56 до 0,86 с достоверностью $R^2 = 0,99$ эмпирической зависимостью:

$$P_g = 13034\gamma - 6769. \quad (5)$$

Проведены сравнительные исследования эксплуатационных свойств порошковой проволоки разных конструкций профилей и относительной плотностью силикокальциевого наполнителя (рис.8). Первый вид профиля с тремя зигами получен прокаткой в клетях и волочением в трезубой волоке (рис.7,а). Второй профиль проволоки с одним зигом получен прокаткой и редуцированием в клетях (рис.7,б). Третий тип профиля без зига получен прокаткой в клетях и редуцированием через монолитную волоку с круглым отверстием (рис.7,в).

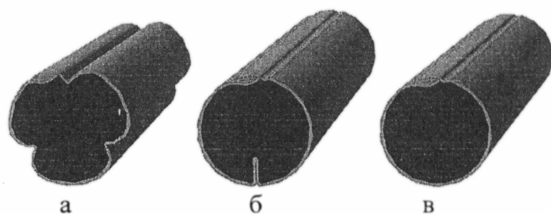


Рис.7. Конструкции профилей порошковой проволоки: а - с тремя зигами, б - с одним зигом и в - без зига

Испытания повторяли механические воздействия и деформации, которым подвергается порошковая проволока в процессе своего жизненного цикла: при смотке, размотке бунта и при подаче трайб-аппаратом в ковш.

Кручение осуществлялось в специальном приспособлении для продольного скручивания. Установлено, что результаты испытаний конструкции проволоки с тремя зигами превосходят на 11% результаты проволоки с одним зигом и на 58% результаты проволоки без зига.

Перегиб порошковой проволоки проводили в тисках. Полученные данные свидетельствуют о том, что показатели проволоки с тремя зигами превышают показатели проволоки с одним зигом на 5% и показатели проволоки без зига на 28%.

Сплющивание порошковой проволоки выполнялось в валках одноклетьевого прокатного стана 160. Определено, что образцы проволоки с тремя зигами и одним зигом сплющиваются без разрушения оболочки, а у образца без зига наблюдается раскрытие замкового соединения.

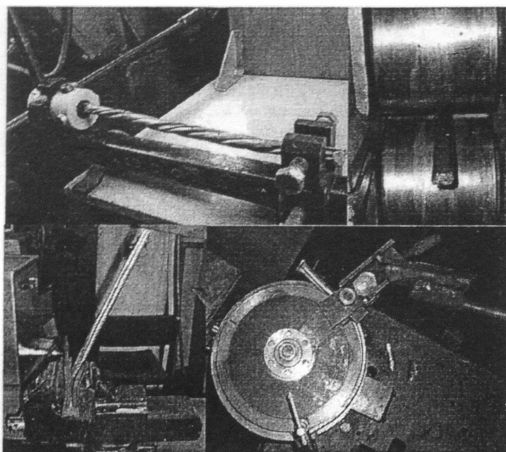


Рис.8. Стендовые испытания порошковой проволоки на кручение, сплющивание, перегиб и изгиб

Изгиб порошковой проволоки осуществлялся на устройстве для гибки труб. Установлено, что минимальный радиус изгиба для трех типов профилей составляет 100мм. Таким образом, можно уменьшить внутренний диаметр бунта по сравнению с нынешним до 3 раз. Это позволит увеличить его вес и длину проволоки в нем в среднем на 20%, как следствие возрастет производительность процесса внепечной обработки и снизятся транспортные расходы.

В пятой главе «Изготовление порошковой проволоки повышенного качества и экономический эффект от ее применения» изложены технологические рекомендации производства порошковой проволоки с тремя зигами.

На примере порошковой проволоки диаметром 15мм с наполнителем СК30 описана усовершенствованная технология ее производства. Приводится схема технологической линии (рис.9) и схема калибровки формирования оболочки и редуцирования порошковой проволоки по клетям.

Предлагаемая технология производства включает в себя подачу металлической ленты с разматывателя в горизонтальную направляющую клеть, в которой происходит ее правка. В последующих двух горизонтальных клетях осуществляется отбортовка кромок ленты под замковое соединение и формирование U - образного профиля. Затем из бункера специальным подающим устройством, совмещенным со шнековым механизмом, производится заполнение профиля порошковым наполнителем, его разравнивание и предварительное уплотнение на устройстве вибрационного типа. В трех вертикальных клетях кромки профиля сводятся и подгибаются. В последней клетке горизонтального типа происходит вдавливание фальцевого замка в оболочку и подпрессовка порошка. Потом

трубчатая заготовка редуцируется и готовая проволока сматывается в бунт с помощью намотчика.

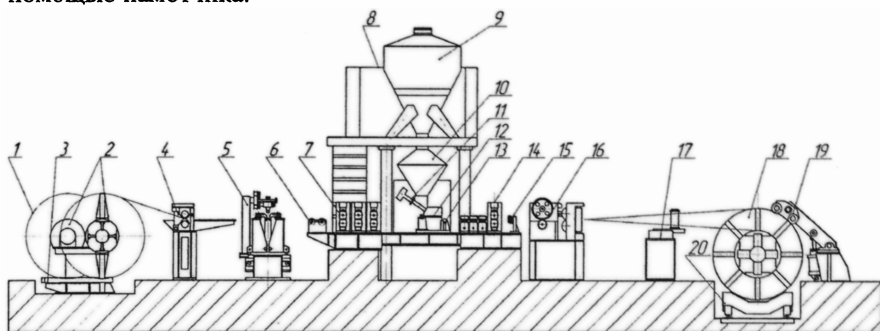


Рис.9. Усовершенствованная линия для производства порошковой проволоки

В результате удачных испытаний порошковой проволоки с тремя зигами проведена доработка редуцирующего инструмента. Это сделано с целью снижения силы волочения, уменьшения износа и обеспечения точности размера проволоки. На рис.10. представлена конструкция двойной трехроlikовой фильеры.

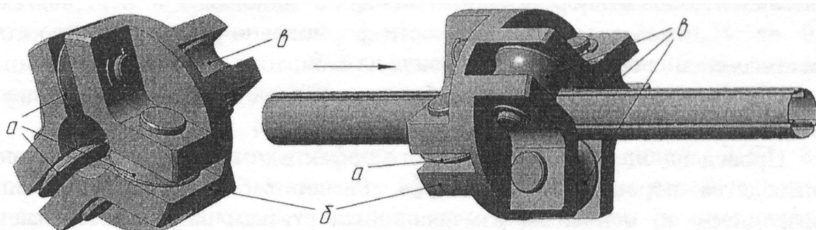


Рис.10. Сдвоенная трехроlikовая фильера

Редуцирующая роlikовая фильера состоит из двух групп роlikов. Первая группа роlikов (рис.10,а) представляет собой установленные в обойме (рис.10,б) три узких треугольных в сечении ролика, расположенные под углом 120° по отношению друг к другу. Один из роlikов находится в непосредственной близости к фальцевому замку и предназначен для формирования зига, предотвращающего раскрытие замка. В этой группе роlikов осуществляется уменьшение поперечного сечения профиля путем их внедрения вглубь оболочки. Отверстие в корпусе роlikовой фильеры, через которое проходит проволока, выполнено большим диаметром, чем диаметр проволоки. Таким образом, в контакт с оболочкой вступают только три ролика, а остальная поверхность оболочки свободна от соприкосновения с инструментом.

Вторая группа роlikов (рис.10,в) располагается непосредственно за первой группой роlikов по оси формовки и повернута относительно нее на

60°. В ней производится калибрование профиля с одновременным поджатием трех образованных зигов. Здесь обеспечивается точность размеров проволоки и дополнительно повышается плотность наполнителя.

Данная операция редуцирования позволяет сжимать порошок в полости более равномерно и при меньшем влиянии наклепа, увеличивает жесткость профиля и плотность наполнителя.

Описанная технология зарегистрирована в виде заявки на изобретение, как способ получения порошковой проволоки с повышенной плотностью порошкового наполнителя (№2011153879 от 29.12.2011). Внесение минимальных изменений в конструкторскую документацию позволит использовать данный способ при модернизации существующего оборудования и создании новых линий. Результаты работы в виде конструкторских и технологических рекомендаций были приняты ЗАО «Тенакс Инжиниринг» для модернизации существующих линий.

Предлагаемый способ позволяет получить экономический эффект по сравнению со способом, применяемым на действующих линиях ЛПП 8-17 по следующим показателям:

- экономия металла оболочки за счет уменьшения исходной ширины ленты - 14%;
- увеличение плотности наполнителя в оболочке за счет применения новой калибровки с 0,74 до 0,86;
- снижение материалоемкости формовочно-редуцирующего стана за счет изменения состава оборудования на 27%;
- снижение энергопотребления за счет изменения привода формующих клеток на 45%.

Проведена оценка экономического эффекта от предложенного способа производства порошковой проволоки. Расчет себестоимости проволоки производился по основным изменяющимся статьям затрат: амортизация, основные материалы, энергоресурсы. Установлено, что экономия на амортизационных отчислениях и электроэнергии незначительна по сравнению с экономией на исходных материалах. Однако при работе нескольких линий для производителя порошковой проволоки это может иметь серьезное значение. Увеличение прибыли от реализации порошковой проволоки, производимой на усовершенствованном варианте линии, составило 49549500 рублей в год.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. На основе анализа жизненного цикла порошковой проволоки и сформулированных требований к ее качеству выявлено, что для улучшения качества порошковой проволоки необходимо совершенствовать технологию ее изготовления, а также конструкцию оборудования и инструмента в следующих направлениях:

– получение проволоки без удлинения оболочки при пластическом деформировании;

- снижение числа формирующих и обжимающих клетей;
- изменение конструкции деформирующего инструмента.

2. В соответствии со сформулированными направлениями совершенствования предложены новые технологические и технические решения в виде технологической схемы изготовления порошковой проволоки, схемы технологической линии и конструкции редуцирующего инструмента. Предложенная схема технологической линии позволяет снизить металлоемкость оборудования на 27%.

3. На основе полученных аналитических зависимостей контактного давления от относительной плотности порошковой проволоки разработана методика расчета силовых параметров процесса прокатки, адекватность которой подтверждена экспериментальными исследованиями. Установлено, что силы прокатки незначительны, в частности, при производстве проволоки диаметром 16мм с силикокальциевым наполнителем не превышают 3,3кН. Определено, что для привода формовочно-редуцирующего блока клетей достаточно одного мотор-редуктора мощностью 2,2кВт.

4. Экспериментальные исследования основных технологических характеристик порошковой проволоки, полученной по новой технологии, показали, что в сравнении с промышленными образцами относительная плотность порошка в новой проволоке увеличилась с 0,74 до 0,86. Испытания новой проволоки показали повышение сопротивления разрушению на перегиб до 28% и кручение до 58%.

5. Результаты работы приняты ЗАО «Тенакс Инжиниринг» для использования при модернизации существующих линий ЛПП 8-17. Экономический расчет показал, что эффект от внедрения новой технологии производства порошковой проволоки при трехсменном режиме составит 49549500 рублей в год.

Основные положения диссертации отражены в следующих работах, в том числе в изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. Дзудза М.В. Особенности очага деформации при прокатке порошковой проволоки // Будущее машиностроения России: сб. тр. III Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов (МГТУ им. Н.Э.Баумана). М. 2010. С.137-138.

2. Лушников В.М., Дзудза М.В. Метод контроля качества порошковой металлургической проволоки [Электронный ресурс] // Всероссийский научно-практический семинар «Влияние идей академика А.И.Целикова на качество инженерного образования МГТУ им. Н.Э. Баумана», посвященный 60-летию кафедры «Оборудование и технологии прокатки»; МГТУ им. Н.Э.Баумана.- Электрон. дан. М., 2010. 1 CD-R.

3. Дзудза М.В. Повышение эксплуатационных характеристик металлургической порошковой проволоки // Будущее машиностроения

России: сб. тр. IV Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов (МГТУ им.Н.Э.Баумана). М. 2011. С.163-164.

4. **Дзудза М.В.** Технологические свойства реагентов металлургической порошковой проволоки // Наука и просвещение: сб. науч. тр. II Международной научно-практической конференции/ Ред. В.А. Иванов. Киев, 2011. С.35-40.

5. **Дзудза М.В.** Анализ видов металлургической порошковой проволоки // Известия ВУЗов. Сер. Машиностроение. 2011. № 5. С. 43-48.

6. **Лушников В.М., Дзудза М.В.** Анализ процесса уплотнения порошковой проволоки с фальцевым замком и зигом // Производство проката. 2011. №7. С.36-39.

7. **Дзудза М.В.** Экспериментальные исследования технологических свойств наполнителей металлургической порошковой проволоки // Заготовительные производства в машиностроении. 2011. № 8. С.24-26.

8. **Дзудза М.В., Лушников В.М.** Способ редуцирования металлургической порошковой проволоки [Электронный ресурс] // Наука и образование. 2011. №10. <http://technomag.edu.ru/issue/207707.html>. (Дата обращения 06.04.2012.)

9. **Дзудза М.В., Лушников В.М.** Экспериментальные исследования эксплуатационных свойств различных типов порошковой проволоки [Электронный ресурс] // Наука и образование. 2011. №10. <http://technomag.edu.ru/issue/207707.html>. (Дата обращения 06.04.2012.)

10. **Лушников В.М., Дзудза М.В.** Анализ жизненного цикла металлургической порошковой проволоки // Заготовительные производства в машиностроении. 2011. № 11. С. 32-34.