

На правах рукописи
Министерство высшего и среднего специального
образования БССР
БЕЛОРУССКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

КЛИМЕНКОВ Степан Степанович

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОКАТКИ ТОЛСТЫХ ПОЛОС ИЗ ПОРОШКОВ
/Специальность 05.16.05—Обработка металлов давлением/

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

М и н с к · 1 9 7 5

Работа выполнена в лаборатории кафедры "Машины и технология обработки металлов давлением" Белорусского ордена Трудового Красного Знамени политехнического института.

Научный руководитель –
кандидат технических наук, доцент

Е.Б. Ложечников

Официальные оппоненты:

доктор технических наук

Е.И. Бельский

кандидат технических наук,
старший научный сотрудник

Т.В. Калиновская.

Ведущее предприятие – Минский опытно-экспериментальный завод им. Н. Гастелло.

Автореферат разослан " _____ 1975 г.

Защита диссертации состоится " _____ 1975 г. на заседании Совета по присуждению ученых степеней механико-технологического факультета Белорусского ордена Трудового Красного Знамени политехнического института в ауд. №36 учебного корпуса №7. /Минск, ул. Я. Коласа, 22/.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского политехнического института.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью учреждения, просим направлять по адресу: 220027, г. Минск-27, Ленинский проспект, 65. Белорусский политехнический институт, Ученому секретарю Совета механико-технологического факультета.

Ученый секретарь Совета,
кандидат технических наук
доцент

И.А. Ридев

С

Белорусский политехнический институт



В В Е Д Е Н И Е

В директивах XXIV съезда КПСС отмечается, что решающим условием повышения эффективности общественного производства является перевооружение всех отраслей народного хозяйства на основе современной высокопроизводительной техники, внедрения прогрессивных, особенно непрерывных технологических процессов, создания новых материалов.

Определенная роль в выполнении задач, поставленных в директивах XXIV съезда КПСС, принадлежит порошковой металлургии. Методами порошковой металлургии получают такие материалы и изделия, которые другими способами получить невозможно или экономически нецелесообразно. Порошковая металлургия позволяет значительно повысить культуру производства, увеличить производительность труда, уменьшить удельный расход металлов, создать полноценные заменители дефицитных материалов.

Одним из перспективных направлений порошковой металлургии является прокатка порошков, которая позволяет получать листовой полуфабрикат: полосы, ленты, проволоку.

Высокая производительность при сравнительно небольших капитальных затратах, сокращение расхода материалов, стабильность свойств получаемых металлургических полуфабрикатов обусловили организацию в СССР и ряде др. стран производства проката из порошков нержавеющей стали, титана, никеля, меди, алюминия и сложных порошковых композиций специального назначения.

В связи с непрерывным увеличением объема производства черных и цветных металлов прямым химическим восстановлением руд вытекает задача освоения производства листов и профилей из конструктивных и др. материалов прокаткой порошков.

Большие возможности способа прокатки порошков имеются в производстве листов из жаропрочных, инструментальных и композиционных материалов.

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, выводов и приложений.

Глава I. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.

В СССР и за рубежом выполнено большое количество работ по теории и практике прокатки металлических порошков. Известны осно-

вополгающие работы Г.И.Аксенова, Г.А.Виноградова, В.П.Северденко, В.С.Смирнова, В.З.Жилкина, В.П.Каташинского, О.А.Катруса, Е.Б.Ложечникова, А.Н.Николаева, А.Н.Павлова, Ю.Н.Семенова и др.

Рассмотрены основные закономерности прокатки порошков, полученные этими и др.авторами. Отмечено влияние различных факторов на толщину и плотность прокатываемых из порошков лент и показана взаимосвязь между толщиной и плотностью лент; дан анализ зависимостей отставания и опережения при прокатке. Произведен анализ теоретических и экспериментальных исследований, посвященных распределению нормальных контактных давлений и удельных сил трения по дуге захвата, зависимостей угла прокатки и нейтрального Φ гла, а также момента и мощности прокатки от других параметров прокатки и свойств порошка.

В работе рассмотрены исследования по прокатке порошков сложного состава, содержащих труднодеформируемые и пластически недеформируемые частицы.

Анализ выполненных рядом авторов работ показал, что еще недостаточно исследованы многие вопросы, имеющие важное научное и практическое значение. Исследования проводились при прокатке порошков в тонкие ленты. В то же время для производства компактных лент из порошков на первой операции необходимо прокатывать толстые полосы, которые после спекания должны подвергаться уплотняющим обжатиям.

Не изучено влияние дополнительных напряжений на распределение пористости по объему очага уплотнения и деформаций.

Имеющиеся данные по энергосиловым параметрам основаны, в основном, на экспериментальном материале. Для проведения расчетов мощности прокатки и усилий на валки по предложенным формулам необходимы опытные данные, что затрудняет их использование.

На основании изложенного в настоящей работе поставлены следующие задачи:

1. Изучить особенности и закономерности прокатки толстых полос.
2. Разработать способы интенсификации и стабилизации процесса прокатки порошков.
3. Исследовать энергосиловые параметры прокатки.
4. Изучить влияние условий прокатки и последующей обработки на свойства полос.

Глава П. МАТЕРИАЛЫ, ОБОРУДОВАНИЕ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Опыты прокатки проводили с порошками, различными по составу, свойствам и назначению: железным марки ПЖМ2, смесью порошков металлов с окислами, соответствующей используемому для электрических нагревателей кермету /кермет-ЭН/ и твердого сплава марки ВК 20.

Железный порошок является наиболее распространенным, вопросы его формования и спекания наиболее изучены. В связи с достижениями в области получения железа прямым восстановлением есть все основания ожидать увеличения производства и снижения себестоимости железного порошка, что создает предпосылки для производства листов прокаткой порошков.

Кермет - ЭН /хром 13,4%; никром - 15,5%; окись магния - 66,66%; каолин - остальное/ предназначен для производства прессованием электрических нагревателей бытовых приборов, оборудовании по переработке пластмасс и др. В силу специфических особенностей прессования получить длинномерные заготовки кермета - ЭН с равномерно распределенной плотностью по объему затруднительно. Поэтому представляет интерес изучение возможности изготовления нагревателей методом прокатки, позволяющим получать однородные по плотности, длинномерные заготовки.

Из порошков сплава ВК 20 изготавливают рабочие части вырубных штампов. Из-за плохой формуемости и большой усадки при спекании изготовление относительно тонких длинномерных заготовок из твердого сплава вызывает затруднения. В то же время имеется большая потребность в вырубных штампах, дисковых фрезах, ножах для бесцентровошлифовальных станков и др. инструментах из твердого сплава, имеющих длину /диаметр/ более 100 мм при небольшой толщине.

Для проведения опытов прокатки сконструирован и изготовлен дуостан - 600 с диаметром бочки валков 600 мм, шириной бочки - 145 мм.

Дуостан - 600 отличается поворотной платформой, на которой установлены рабочая и шестеренная клетки, и наличием в рабочей клетки зубчатого зацепления. Последнее выполнено так, чтобы окружные и распорные усилия зубчатых колес действовали симметрично относительно бочки валков и подушек, а межосевое расстояние за-

цепления не изменялось при изменении раствора валков. В качестве привода дуостана-600 использован короткозамкнутый асинхронный электродвигатель мощностью 40 квт. Изменение скоростей прокатки от 0,75 до 12 м/мин достигается с помощью 8-скоростной коробки перемены передач. Стан оснащен бункером-дозатором порошков. Разработана методика настройки дуостана-600 на прокатку полос требуемой толщины и плотности.

Опыты прокатки порошков проводили также на дуостане - 85-180 в валках диаметром 150 мм. Оба стана оснащены тензометрической аппаратурой, позволяющей измерять распределение нормальных, контактных давлений по дуге прокатки, действующие на валку усилия прокатки и крутящий момент привода валков.

Измерение физических и технологических характеристик порошков производили по общепринятым методикам. Для определения сопротивления сдвигу и коэффициента внешнего трения порошка изготовлены специальные приборы.

Распределение пористости по толщине прокатанных из порошка полос и по объёму очага уплотнения и деформации производили с помощью сконструированной интегральной приставки к металлографическому микроскопу и оптикоэлектронного автоматического анализатора "Micro-Videomat" /ФРГ-Австрия/. Метод измерения пористости с помощью интегральной приставки основан на принципе А.Розиваля.

Обработку опытных данных и проведение расчетов энергосиловых параметров прокатки производили с помощью электронной вычислительной машины "Минск-22".

Глава III. ИССЛЕДОВАНИЕ НЕКОТОРЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ПРОКАТКИ ТОЛСТЫХ ПОЛОС

Опыты прокатки проводили в валках диаметром 150 мм при скорости 1,72 м/мин и в валках диаметром 600 мм со скоростью 1,95 м/мин. Направление прокатки - наклонное, под углом 45° к горизонту. Прокатку проводили в гладких валках с подачей порошка из бункера.

Прокаткой железного порошка в состоянии поставки получены полосы толщиной от 0,5 до 1,31 мм плотностью 4,5-7,15 г/см³ в валках диаметром 150 мм и толщиной от 2,4 до 7,5 мм плотностью 5,1-6,8 г/см³ в валках диаметром 600 мм. При прокатке полос толщиной 5-7,5 мм на выходе из валков имели место случаи расслоения полос. Для улучшения уплотняемости в железный порошок

вводили увлажнители—бензин и бензол.

Прокатка порошков кермета—ЭН и твердого сплава ВК20 в состоянии поставки невозможна. В качестве пластификатора использовали парафин. Оптимальное содержание парафина в кермете—ЭН равно 3%, в порошке твердого сплава ВК20—4%. При меньшем содержании парафина прокатанные полосы по середине имеют частые поперечные трещины. Большее содержание пластификатора приводит к снижению плотности и толщины полос.

С целью улучшения формуемости порошки подвергали вальцовке, заключающейся в предварительной прокатке полос малой плотности с последующим размолом и просеиванием через сито 80 меш.

Показано, что введение увлажнителей и пластификатора, а также обработка вальцовкой приводит к изменению физических и технологических характеристик порошков. Введение парафина и обработка вальцовкой приводит к росту коэффициента внешнего трения μ , насыпной массы γ_n , массы утряски γ_t и сопротивления сдвигу τ порошка твердого сплава ВК20. Введение в железный порошок увлажнителей вызывает уменьшение γ_n и γ_t , тогда как обработка вальцовкой сухого порошка и увлажненного сопровождается увеличением γ_n , γ_t , μ , τ . Измерение магнитных характеристик при помощи ферротестера у железного и твердосплавного порошков показало, что в результате вальцовки происходит увеличение коэрцитивной силы, максимальной и остаточной индукции, что обусловлено наклепом пластичных составляющих исследуемых порошков.

Комплексное увеличение технологических и физических параметров, вызванное вальцовкой, оказывает существенное влияние на характер процесса прокатки. При этом в значительной степени увеличивается толщина и плотность проката.

Виноградовым Г.А. установлено, что толщина и плотность проката взаимосвязаны гиперболической зависимостью:

$$h_n = 0,5 \frac{C^2}{\gamma_n},$$

где C — коэффициент, характеризующий суммарное действие всех факторов прокатки.

Влияние способа обработки порошка на интенсивность захвата и уплотнения при прокатке, выраженное через коэффициент "С", приведено в таблице.

Т а б л и ц а

Порошок и способ его обработки	Коэффициент "С"	
	Диаметр валков, мм	
	150	600
Железный в состоянии поставки	3,081	6,112
Железный, увлажненный бензолом	2,763	5,692
Железный, увлажненный бензином	2,942	5,855
Железный, увлажненный бензином и подвергнутый вальцовке	3,414	7,438
Железный сухой, подвергнутый вальцовке	3,627	7,775
Кермета-ЭН с парафином	2,921	5,363
Кермета-ЭН с парафином, подвергнутый вальцовке	3,233	5,822
ВК20 с парафином	4,148	8,848
ВК20 с парафином, подвергнутый вальцовке	4,657	10,14

Известно, что максимальная толщина проката из порошков не превышает 1% от диаметра валков. Обработка порошков вальцовкой позволяет увеличить максимальную толщину проката до 1,3-1,4% от диаметра валков.

Введение в железный порошок увлажнителей приводит к некоторому уменьшению толщины и плотности проката, но способствует более равномерному распределению плотности по ширине полосы и расширяет диапазон плотностей и толщин прокатываемых полос без распада.

Возможность прокатки полос в широком интервале толщин позволила исследовать зависимости угловых параметров и опережения от толщины и плотности. При прокатке полос разной толщины, но одинаковой плотности и, наоборот, разной плотности, но одинаковой толщины, установлено, что угол прокатки увеличивается с увеличением толщины и плотности прокатываемых полос, сумма нейтрального угла и угла упругого сжатия валков при увеличении толщины полос уменьшается, а при увеличении плотности сначала уменьшается, а затем снова увеличивается.

Опыты показали, что при прокатке полос из железного порошка опережение уменьшается с увеличением толщины и плотности при $\gamma_d < 5,6-5,7 \text{ г/см}^3$ и увеличивается при $\gamma_d > 5,6-5,7 \text{ г/см}^3$. Величина опережения полос, прокатанных из железного порошка, не превышала 1%. При прокатке кермета-ЭН и порошка ВК20 опережение составляло соответственно 3,61-4,12% и 3,82-6,35%.

Увеличение опережения при прокатке этих материалов вызвано действием пластификатора, уменьшающего трение порошка о поверхность валков, а также наличием недеформируемых частиц окислов магния и карбида вольфрама, которые уменьшают величину металлических контактов между частицами при их уплотнении и за счет этого снижают сопротивление перемещению частиц в зоне опережения.

При прокатке порошков с бункером, щеки которого прилегают к торцам валков, была замечена неравномерность распределения опережения по ширине полосы. В центре полосы опережение больше, чем по краям. Вследствие этого возникают растягивающие напряжения, которые вызывают образование трещин у краев полосы.

Введение у стенок бункера проволоки позволило интенсифицировать процесс захвата порошка валками, уменьшить торможение спрессовываемого материала о стенки бункера и получить полосы без поперечных трещин с равномерно распределенной плотностью по ширине и одинаковой толщиной. Диаметр проволоки выбирали из расчета 0,9-1,2 толщины проката.

Исследованы зависимости коэффициентов вытяжки λ , уплотнения Z и спрессовывания ϵ от максимального нормального давления. Показано, что при прокатке толстых полос из порошков железа, твердого сплава ВК20 и кермета-ЭН коэффициент вытяжки не зависит от максимального нормального давления и соответственно равен 1,38; 1,21 и 1,32.

Величиной, характеризующей отставание, является коэффициент отставания K_c , который показывает интенсивность скольжения уплотняемого порошка относительно валков в зоне отставания. Расчет по формулам Виноградова Г.А. получены следующие величины коэффициента отставания при прокатке в валках диаметром 600 мм: 0,719-0,767; 0,842-0,856; 0,744-0,776 соответственно для порошков железа, твердого сплава ВК20 и кермета-ЭН.

С помощью интегральной приставки и оптико-электронного автоматического анализатора *Micro-Videomat* / проведено ис-

следование распределения пористости по объему очага уплотнения и деформации, а также по толщине полос. Анализ результатов дает основание полагать, что независимо от толщины для исследуемых материалов характер уплотнения порошка валками остается одинаковым: интенсивно уплотнение происходит на участке $/0,4-0,5/ \Delta p$ и заканчивается в нейтральном сечении. Показано, что в сечениях очага уплотнения и деформации, перпендикулярных направлению прокатки, плотность спрессовываемого порошка в зоне опережения и части зоны отставания, протяженность которой приблизительно равна зоне опережения, неравномерна: менее плотными являются слои, прилегающие к поверхности бочки валков.

Установлено, что пористость у поверхности полос может быть в 2 и более раза выше, чем в середине. Толщину проката можно разделить на три слоя: средний с равномерным распределением пористости и два внешних с увеличивающейся пористостью по мере приближения к поверхности полосы. Разность между пористостью у поверхности и в среднем слое не зависит от толщины полосы, но с увеличением ее средней плотности уменьшается. Толщина слоев переменной плотности уменьшается с увеличением средней плотности и не зависит от толщины полосы.

Глава IV. АНАЛИЗ ЭНЕРГОСИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ПРОКАТКИ

Исследования показали, что при прокатке порошков железа, кермета-ЭН и твердого сплава ВК20 в полосы толщиной 2-7,5 мм характер эпюр нормальных давлений оставался одинаковым во всем диапазоне толщин. В начале зоны уплотнения нормальные давления увеличиваются незначительно и резко возрастают в зоне, соответствующей углу спрессовывания. Вершина эпюры имеет куполообразную форму и смещена в сторону выхода полосы из валков.

Опыты показали, что для исследуемых материалов в указанном диапазоне толщин величина максимального нормального давления не зависит от толщины и определяется плотностью проката, свойствами и видом предварительной обработки порошка. Увлажнение железного порошка бензином или бензолом приводило к уменьшению, а обработка вальцовкой к увеличению максимальных нормальных давлений. Рост максимальных нормальных давлений, обусловленный упрочнением порошка в результате вальцовки, наиболее интенсивно происходит при $\gamma > 0,7$.

На основе опытных данных построены номограммы для определения максимального и среднего нормальных давлений при прокатке полос разных толщин и плотностей из исследуемых материалов.

Показано, что при прокатке гетерогенных порошков твердого сплава ВК20 и кермета-ЭН также как и при прокатке гомогенных порошков между максимальным и средним нормальными давлениями существует пропорциональная зависимость. Для порошков железа, твердого сплава и кермета-ЭН коэффициент пропорциональности равен соответственно: 0,465; 0,45; 0,3.

Исследованы зависимости усилий прокатки и крутящего момента привода валков от толщины и плотности полос. Увеличение плотности при постоянной толщине вызывает увеличение усилия и момента прокатки, которые особенно резко возрастают при $U > 0,6$. Между моментом прокатки и толщиной существует практически пропорциональная зависимость при $U > 0,8$. Влияние толщины проката на величину и интенсивность роста усилия и момента прокатки тем острее, чем больше плотность. Так, например, увеличение толщины полос с 2,5 до 3,5 мм плотностью 4,93 г/см³ вызвало увеличение усилия прокатки на 5800 кГ, момента привода на 870 кГм, а при таком же увеличении толщины полос плотностью 6,15 г/см³ усилие прокатки увеличилось на 11660 кГ, момент привода на 2030 кГм.

В работе проведен теоретический анализ энергосиловых параметров процесса прокатки.

При прокатке порошков на валок действуют две силы: сила нормального давления P и сила трения τ . Так как силы нормального давления работы не совершают, то энергия, необходимая для прокатки порошков, затрачивается на преодоление сил трения на поверхности валков. Мощность и момент привода валков, необходимые для преодоления силы трения $d\tau$ на элементарной площадке dF /рис. I, а/, равны

$$dN_{np} = d\tau \cdot V = V R P(\varphi) \mu(\varphi) B(\varphi) d\varphi, \quad (2)$$

$$dM_{np} = d\tau \cdot R = R^2 P(\varphi) \mu(\varphi) B(\varphi) d\varphi, \quad (3)$$

где $P(\varphi)$; $\mu(\varphi)$ и $B(\varphi)$ - соответственно переменные значения нормального контактного давления, коэффициента трения и ширины по дуге прокатки.

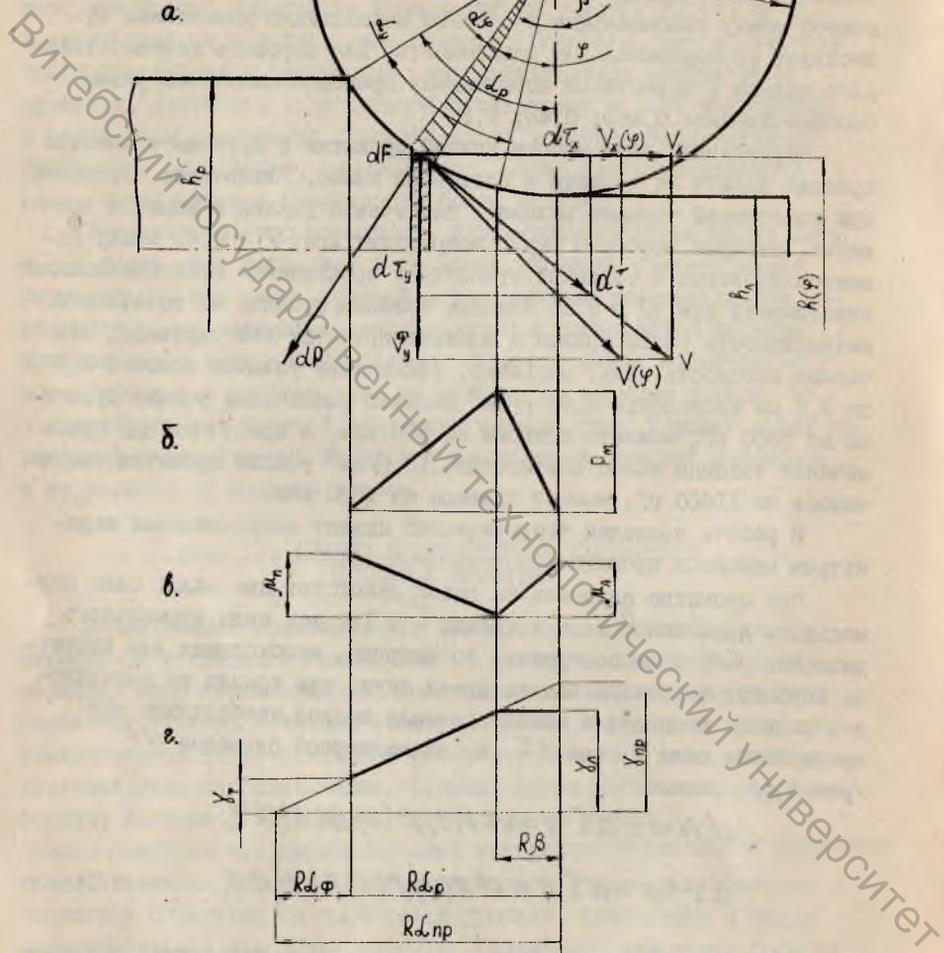


Рис. I.

Полная мощность и момент прокатки равны.

$$N_{np} = DV \left(\int_{\beta}^{\alpha} B(\varphi) \cdot P(\varphi)_{от} \cdot \mu(\varphi)_{от} d\varphi - \int_0^{\beta} B(\varphi) \cdot P(\varphi)_{он} \cdot \mu(\varphi)_{он} d\varphi \right), \quad /4/$$

$$M_{np} = 2R^2 \left(\int_{\beta}^{\alpha} B(\varphi) \cdot P(\varphi)_{от} \cdot \mu(\varphi)_{от} d\varphi - \int_0^{\beta} B(\varphi) \cdot P(\varphi)_{он} \cdot \mu(\varphi)_{он} d\varphi \right). \quad /5/$$

Аппроксимируя изменение нормального контактного давления и коэффициента трения по дуге захвата линейными функциями (рис. 1, б, в), получим

$$P(\varphi)_{от} = \frac{P_m}{\alpha - \beta} (\alpha - \varphi) = i_{от} (\alpha - \varphi); \quad P(\varphi)_{он} = \frac{P_m}{\beta} \cdot \varphi = i_{он} \cdot \varphi; \quad /6/$$

$$\mu(\varphi)_{от} = \frac{\mu_n}{\alpha - \beta} (\varphi - \beta); \quad \mu(\varphi)_{он} = \frac{\mu_{\lambda}}{\beta} (\beta - \varphi); \quad /7/$$

где $i_{от}$, $i_{он}$ - интенсивность изменения нормального контактного давления соответственно для зоны отставания и опережения;

μ_n , μ_{λ} - максимальные значения коэффициента трения порошка и сырой ленты.

Учитывая незначительное уширение при прокатке порошков, принимаем

$$B(\varphi) = b_0 = Const.$$

В результате подстановки значений переменных /6/ и /7/ в /4/ и /5/, решения интегралов и некоторых преобразований получены формулы мощности и момента прокатки

$$N_{np} = \frac{P_m b_0 DV}{8} (\mu_n \alpha - \mu_{\lambda} \beta), \quad /8/$$

$$M_{np} = \frac{P_m b_0 R^2}{3} (\mu_n \alpha - \mu_{\lambda} \beta). \quad /9/$$

Расхождение рассчитанных по формулам /8/ и /9/ значений мощности и момента прокатки с полученными экспериментально не превышало 10%.

Мощность привода валков можно рассматривать как сумму мощности уплотнения и потерь мощности на трение порошка о поверхность валков. Элементарную мощность уплотнения независимо от наличия или отсутствия скольжения уплотняемого порошка относительно валков можно выразить дифференциальным уравнением

$$dN_y = dP \cdot V_x(\varphi) \cos[\alpha P, V_x(\varphi)], \quad (10)$$

где $V_x(\varphi)$ — переменное значение средней скорости уплотняемого порошка в направлении прокатки, которое можно выразить через секундный расход массы порошка / M_c /

$$V_x(\varphi) = \frac{M_c}{\gamma(\varphi) \cdot h(\varphi) \cdot b_0} \quad /11/$$

Результаты непосредственного измерения пористости по объему очага уплотнения и деформации с помощью интегральной приставки и электронного автоматического анализатора "Micro-Videomat" дают основание аппроксимировать зависимость плотности от угла поворота валков линейной функцией /рис. I Г/, которая для зоны отставания имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} \gamma(\varphi)_{от} &= \gamma_T + \frac{\gamma_n - \gamma_T}{\alpha_p - \beta} (\alpha_p - \varphi) = \gamma_T + i_\gamma (\alpha_p - \varphi) = \\ &= \gamma_T + i_\gamma \alpha_p - i_\gamma \varphi = \gamma_{np} - i_\gamma \varphi, \end{aligned} \quad /12/$$

где i_γ — интенсивность уплотнения, характеризуемая изменением плотности при повороте валков на единицу угла, г/см³.рад;

γ_{np} — приведенная плотность, определяемая плотностью, до которой уплотнился бы порошок, при условии постоянства интенсивности уплотнения i_γ по всему очагу уплотнения и деформации, включая и зону опережения /рис. I, Г/.

Для зоны опережения

$$\gamma(\varphi) = \gamma_n = \text{Const}. \quad /13/$$

Зависимость $h(\varphi)$ без учета упругого сжатия валков можно представить следующим выражением:

$$h(\varphi) \approx h_n + R \varphi^2 \quad /14/$$

Тогда формула полной мощности уплотнения будет иметь вид

$$N_y = M_c Di_{от} \int_{\beta}^{\alpha_p} \frac{(\alpha_p - \varphi) \sin \varphi d\varphi}{(h_n + R\varphi^2)(\gamma_{np} - i_s \varphi)} + \frac{M_c Di_{он}}{\gamma_n} \int_0^{\beta} \frac{\varphi \sin \varphi d\varphi}{h_n + R\varphi^2} \quad /I5/$$

Решив исходные интегралы и произведя некоторые преобразования, получим формулы для определения мощности и момента уплотнения

$$N_y = \frac{2M_c i_{от}}{i_s (h_n + d_{np}^2)} \times \left[\alpha_{np} (\alpha_{np} - \alpha_p) \ln \frac{d_{np} - \alpha_p}{d_{np} - \beta} + \frac{d_{np} \alpha_p + h_n}{2} \times \right. \\ \left. \times \ln \frac{d_p^2 + h_n}{\beta^2 + h_n} \right] + \frac{2M_c i_{он}}{\gamma_n} \left(\beta - \sqrt{h_n} \operatorname{arctg} \frac{\beta}{\sqrt{h_n}} \right) \quad /I6/$$

$$M_y = \frac{D b_0 h_n \gamma_n i_{от}}{i_s (h_n + d_{np}^2)} \times \left[\alpha_{np} (\alpha_{np} - \alpha_p) \ln \frac{d_{np} - \alpha_p}{d_{np} - \beta} + \frac{d_{np} \alpha_p + h_n}{2} \times \right. \\ \left. \times \ln \frac{d_p^2 + h_n}{\beta^2 + h_n} \right] + b_0 h_n Di_{он} \left(\beta - \sqrt{h_n} \operatorname{arctg} \frac{\beta}{\sqrt{h_n}} \right) \quad /I7/$$

где $\beta = \frac{h_n}{R}$ — относительная толщина;

$\alpha_{np} = \frac{\gamma_{np}}{i_s}$ — приведенный угол.

Расчетом по формуле /I7/ получена зависимость удельной энергии уплотнения от плотности полос, прокатанных из железного порошка.

Так как мощность уплотнения — это та часть мощности прокатки, которая необходима только для спрессовывания порошка в зоне отстаивания и деформации в зоне опережения без учета потерь на трение о поверхность валков, то коэффициент полезного действия процесса прокатки порошков можно представить как

$$\eta = \frac{N_y}{N_{np}}, \quad \text{или} \quad \eta = \frac{M_y}{M_{np}} \quad /I8/$$

На примере прокатки железного порошка показано, что коэффициент полезного действия процесса прокатки порошков с увеличением плотности возрастает.

Потери мощности на преодоление сил трения на элементарной площадке в общем виде можно записать следующим уравнением:

$$dN_{\text{тр}} = dT \cdot V_{\text{ск}}(\varphi) \cos [d\tau, \hat{V}_{\text{ск}}(\varphi)], \quad /19/$$

где $V_{\text{ск}}(\varphi)$ - скорость скольжения элементарного сечения очага уплотнения и деформации относительно валков.

Для зоны отставания

$$V_{\text{ск}}(\varphi)_{\text{от}} = V \cos \varphi - \frac{M_c}{\delta_0 (h_n + R\varphi^2) (\gamma_{\text{пр}} - i_{\gamma} \varphi)}, \quad /20/$$

для зоны опережения

$$V_{\text{ск}}(\varphi)_{\text{оп}} = \frac{M_c}{\delta_0 \gamma_n (h_n + R\varphi^2)} - V \cos \varphi. \quad /21/$$

Уравнение потерь мощности на преодоление сил трения по дуге прокатки имеет вид

$$N_{\text{тр}} = \mu \delta_0 R \left[i_{\text{от}} \int_{\beta}^{\alpha_p} (d_p - \varphi) \left(V \cos \varphi - \frac{M_c}{\delta_0 (h_n + R\varphi^2) (\gamma_{\text{пр}} - i_{\gamma} \varphi)} \right) \cos \varphi d\varphi - \right. \\ \left. - i_{\text{оп}} \int_0^{\beta} \varphi \left(\frac{M_c}{\delta_0 \gamma_n (h_n + R\varphi^2)} - V \cos \varphi \right) \cos \varphi d\varphi \right], \quad /22/$$

где μ - коэффициент трения при прокатке.

Решив интегралы в уравнении /22/ и произведя преобразования, получим формулу потерь мощности на трение

$$N_{\text{тр}} = \mu \left[\rho_m F_{\text{ч}} V + \frac{2M_c i_{\text{оп}}}{i_{\gamma} (h_n + d_{\text{пр}}^2)} \left(\frac{\gamma_{\text{т}}}{2i_{\gamma}} \ln \frac{\gamma_n^2 (d_p^2 + h_n)}{\gamma_{\text{т}}^2 (\beta^2 + h_n)} - \right. \right. \\ \left. \left. - \frac{d_p d_{\text{пр}} + h_n}{\sqrt{h_n}} \arctg \frac{d_{\gamma} \sqrt{h_n}}{h_n - d_p \beta} \right) \right] = \mu A, \quad /23/$$

где $F_{\text{ч}}$ - площадь контакта валков с очагом уплотнения, соответствующего центральному углу d_{γ} .

Потери мощности на трение порошка о поверхность валков можно представить в виде разности мощности прокатки и мощности уплотнения, т.е.

$$N_{тр} = N_{нр} - N_{ч} = \mu \cdot A, \quad /24/$$

тогда

$$\mu = \frac{N_{нр} - N_{ч}}{A}. \quad /25/$$

Формула /25/ позволяет определить величину коэффициента трения при прокатке порошков по опытным данным, полученным с помощью мездоз момента привода валков и точечной радиальной.

Глава V. ФОРМИРОВАНИЕ СВОЙСТВ СПЕЧЕННОГО ПРОКАТА

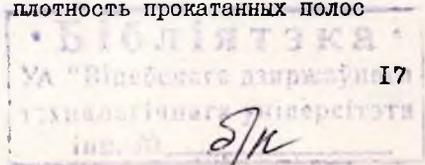
Спекание железных полос проводили в среде диссоциированного аммиака при температуре 1050°C и в вакууме при температуре 950° и 1150°C. Наибольшее увеличение плотности имело место при спекании образцов с исходной плотностью 5,6 г/см³ в вакууме при температуре 1150°C, наименьшее при спекании в вакууме при температуре 950°C образцов плотностью 6,73 г/см³. Существенного влияния температура и атмосфера спекания на величину предела прочности не оказывали, тогда как увеличение плотности в результате уплотняющей прокатки вызывало значительный рост предела прочности.

Уплотняющую прокатку проводили на станах с диаметром валков 150 и 600 мм. Установлены соотношения между степенью обжатия, коэффициентом вытяжки и уплотнения спеченных железных полос разной плотности.

На основании равенства массы сырой полосы до и после уплотнения прокаткой получена зависимость между коэффициентом уплотнения Z_n , коэффициентом вытяжки λ , коэффициентом обжатия ϵ_n и коэффициентом ушерения α

$$Z_n = \frac{1}{\lambda(\alpha+1)(1-\epsilon_n)}. \quad /26/$$

Проведены опыты по изучению влияния длительности смешивания компонентов кермета-ЭН на его свойства. Показано, что с увеличением продолжительности смешивания возрастает насыпная масса и масса утряски, что обуславливает увеличение толщины и плотности полос при прокатке. При спекании плотность прокатанных полос



также возрастает с увеличением длительности смешивания.

Удельное электросопротивление полос кермета-ЭН уменьшается при увеличении длительности смешивания компонентов и не зависит от плотности проката. Увеличение температуры приводит к уменьшению удельного электросопротивления с 10^{-2} до $2,2 \cdot 10^{-3}$ ом.м.

Разработана технология изготовления штампов, армированных твердосплавным прокатом. Несмотря на высокую стойкость внедрение твердосплавных штампов сдерживается сложностью изготовления и эксплуатации. Применение твердосплавного проката позволяет значительно упростить технологию изготовления пуансонов и матриц штампов в результате ликвидации операции прессования /отсутствует необходимость в пресс-формах/, сократить расход твердого сплава и расширить возможности его применения за счет получения тонких длинномерных заготовок.

Простые по форме заготовки для матриц и пуансонов вырезались из неспеченных полос по разметке или по шаблонам. Для улучшения обрабатываемости и сохранения острых кромок сырую полосу покрывали раствором органического стекла в дихлорэтане.

Спекание производили в атмосфере остроосушенного водорода при температуре 1360°C по режимам, принятым в твердосплавном производстве.

Из твердосплавного проката изготовлены два штампа для вырубки заготовок спичечных коробок из картона. Производственные испытания показали, что стойкость армированных твердосплавным прокатом штампов в 17,5 раз больше, чем штампов, матрицы и пуансоны которых изготовлены из инструментальной легированной стали. Штампы внедрены на Борисовском деревообрабатывающем объединении. Экономический эффект от внедрения двух штампов составил 14487 руб. Условно-годовой экономический эффект от внедрения 21 твердосплавных штампов, необходимых для выполнения годовой программы спичечных коробок объединением, составит около 152 тыс.руб.

ВЫВОДЫ

1. Изготовлен дуостан с валками диаметром 600 мм, оснащенный дозирующим порошок бункером и тензометрической аппаратурой. Разработана методика настройки стана с бункером-дозатором на прокату лент и полос требуемой толщины и плотности.

2. Показана возможность прокатки порошков железа, твердого сплава и кермета в толстые полосы до 8,4 мм.

3. Исследованы способы интенсификации захвата порошка валками и улучшения формуемости порошка, заключающиеся в введении в порошок увлажнителей или склеивающих пластификаторов, а также в обработке порошков вальцовкой. Показано изменение физических свойств порошка в результате их обработки.

4. Показана зависимость угла прокатки и нейтрального угла от толщины и плотности прокатываемых полос. Исследовано опережение при прокатке толстых полос из порошков и влияние опережения на качество полос.

5. Изучен характер уплотнения прокатываемых в валках порошков в части очага уплотнения и деформации, соответствующей углу спрессовывания. Показано образование повышенной пористости в приконтактных слоях прокатываемого порошка, сохраняющейся в поверхностных слоях полос.

6. Определены зависимости коэффициентов вытяжки, спрессовывания и уплотнения от максимального давления при прокатке.

7. Исследованы энергосиловые параметры прокатки толстых полос. Показано, что введение в железный порошок увлажнителей уменьшает, а обработка порошка вальцовкой — увеличивает усилия и давления на валки.

8. Построены номограммы для определения максимального и среднего нормальных давлений при прокатке полос разных толщин и плотностей из порошков железа, твердого сплава и кермета.

9. В результате математического анализа действующих на валки сил получены формулы момента и мощности прокатки, момента и мощности уплотнения порошка, потерь мощности на преодоление сил трения уплотняемого порошка о поверхность валков. Показано, что с увеличением плотности прокатываемой из порошков полосы коэффициент полезного действия процесса прокатки увеличивается. Предложена методика определения средней величины коэффициента трения.

Ю. Исследована зависимость коэффициентов уплотнения, вытяжки и уширения от плотности спеченных полос при их обжатии в валках диаметром 150 и 600 мм.

II. Из твердосплавного проката изготовлены два вырубных штампа, экономический эффект от внедрения которых на Борисовском ЦДО составил 14,487 тыс.руб. Условно-годовой эффект от внедрения твердосплавных штампов, необходимых для выполнения годовой программы спичечных коробок Борисовским ЦДО, составит 152 тыс.руб.

Основные положения диссертации доложены и обсуждены на следующих конференциях и семинарах:

XXIX-XXX научно-технические конференции Белорусского политехнического института. Минск, 1973, 1974г.

8-я научная конференция молодых ученых Физико-технического института АН БССР. Минск, 1973.

Семинар по теории и технологии прессования порошков. Севастополь, 1973.

Совещание по вопросу "Повышение надежности и долговечности деталей машин". г.Могилев, 1974.

Основное содержание диссертации изложено в следующих работах:

1. Ложечников Е.Б., Клименков С.С. Мощность и крутящий момент привода при прокатке порошков. "Металлургия. Машины и технология обработки металлов давлением". Республиканский межведомств. сборник. Вып.5, Мн., 1974.

2. Ложечников Е.Б., Клименков С.С., Кожевников А.М. Некоторые свойства порошков, определяющие их прокатываемость. "Металлургия. Машины и технология обработки металлов давлением". Республ. межведомств. сборник. Вып.5, Мн., 1974.

3. Ложечников Е.Б., Клименков С.С. Распределение пористости по толщине полос, прокатанных из металлических порошков. "Металлургия. Литейное производство и порошковая металлургия". Республ. межведомств. сборник. Вып.6. Мн., 1974.

4. Клименков С.С. Распределение плотности и опережения по ширине полосы, прокатанной из порошка. "Вопросы прочности и пластичности металлов. Материалы восьмой научной конференции молодых ученых АН БССР". Мн., 1974.

5. Клименков С.С. Повторная прокатка порошков. "Вопросы прочности и пластичности металлов. Материалы восьмой научной

конференции молодых ученых АН БССР". Мн, 1974.

— 6. Прокатка тонких полос твердого сплава и армирование им инструмента. Отчет по теме х/д-130, 1974, госрегистрации № 69043895.

— 7. Изготовление металлокерамических лент путем прокатки и спекания. Отчет по теме х/д-216, 1971, госрегистрации № 73019883.

— 8. Северденко В.П., Ложечников Е.Б., Кожевников А.М., Булега С.С., Клименков С.С., Кулаго Н.Е., Ковалевич Ю.А., Войтов В.Г., Робинсон И.В. "Дуостан - 600 для прокатки порошков и гранул". Порошковая металлургия /в печати/.



Витебский государственный технологический университет

Корректор Решетникова Н.Я.

АТ 11521. Подписано в печать 17/1-75г. Формат 60x84¹/16.
Объем 1, Печ.л.; 1, Зуч.-изд.л. Зак.15. Тир.200. Бесплатно.

Отпечатано на ротационте БПИ. Минск, Ленинский пр., 65.