М188562

НА ДОМ НЕ ВЫДАЕТСЯ

Министерство высшего и среднего специального образования СССР

Московское
ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище имени Н. Э. Баумана

В. В. ФЕДОСОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГАЗОПОРОШКОВОЙ НАПЛАВКИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

(05.167—«Машины и технология сварочного производства»)

Диссертация написана на русском языке

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва 1972

Работа выполнена во Всесоюзном научно-исследовательском и конструкторском институте автогенного машиностроения — «ВНИИАВТОГЕНМАШ».

Научный руководитель —
заслуженный деятель науки и техники РСФСР,
доктор технических наук, профессор И. С. Левитский.

Официальные оппоненты:
доктор технических наук, профессор Г. Д. Никифоров,
кандидат технических наук, доцент Г. Н. Клебанов.

Ведущее предприятие указано в решении Ученого Совета.

Автореферат разослан « » 197 года.

Защита диссертации состоится « » 197 года на заседании Совета МВТУ им. Н. Э. Баумана по адресу: Москва, 107005, 2-я Бауманская ул., дом 5.

Ваш[illegible]тью, просьба высылат[illegible]

С[illegible]библиотеке училища.

Уч[illegible]

М188562

Л-8972[illegible] [illegible]ак. 2711. Тир. 150.

Директивами XXIУ съезда КПСС предусмотрено дальнейшее повышение качества и надежности машин, долговечность рабочих параметров которых часто определяется их сопротивлением износу и может быть существенно повышена за счет нанесения покрытий, требуемых свойств.

В практике современной сварочной техники прочное место заняла наплавка - нанесение расплавленного металла на поверхность изделия. В этом направлении перспективно применение порошковых наплавочных материалов, обеспечивающих гладкое однородное по качеству покрытие с большими возможностями легирования.

В ряде случаев для нанесения порошков требуется источник тепла с мягким локальным нагревом - сварочным пламенем, формируемым газовой горелкой. Нагреваясь при движении в пламени, частицы достигают детали в высокопластичном или расплавленном состоянии и после затвердевания образуют наплавленный слой, пригодный для восстановления и упрочнения деталей машин. Мобильность этого процесса дает возможность наплавлять ровные, выпуклые и вогнутые фасонные поверхности, кромки, углы, а также заполнять дефектные раковины. Процесс особенно выгоден, когда необходимо быстро и простыми средствами без разборки основного агрегата или узла применить ремонтную наплавку, не имея специального сложного оборудования и соответствующей квалификации. Для выполнения работ достаточно питания обычного газосварочного поста.

Охватывая такие области применения газопорошковая наплавка существенно дополняет известные методы плазменного и газопламенного напыления твердых сплавов. Кроме твердой наплавки процесс пригоден для заварки дефектов чугунного литья, сварки с легированием шва и пайки.

Газопорошковая наплавка - новый для отечественной техники процесс. Представленная работа посвящена исследованию и разработке аппаратуры и процесса газопорошковой наплавки. Ее положительные результаты открыли возможность широкого внедрения этого способа наплавки.

Состояние вопроса и задачи исследования.

Анализ существующих конструкций газопорошковых горелок показывает, что их недостатками являются отсутствие средств защиты

М188562

НТБ МГТУ им.Н.Э.Баумана
1188562
Федосов В.В. Исследование

МЕНТАЛЬНАЯ

МВТУ
им. Н. Э. Баумана
БИБЛИОТЕКА

порошкового бункера от возможного обратного удара пламени, ограниченные расходные характеристики, низкая технологичность и высокие (>0,35 ати) рабочие давления горючего газа – ацетилена. Устраняет их применение двухступенчатого смешения (I ступень: инжектирование порошка кислородом; 2 ступень: инжектирование ацетилена кислородно-порошковой смесью). Таких конструктивных решений данного типа огневой аппаратуры в практике не известно.

Основные технологические показатели газопорошковой наплавки (эффективность использования порошка, удельные затраты газов, производительность процесса) наиболее полно определяет температура частиц, обобщающая многофакторный перенос порошка пламенем. Наиболее изучено поведение порошка в греющем потоке для плазменного напыления (С.А.Панфилов,А.В.Николаев,А.В.Петров,В.В.Кудинов, Г.В.Бобров, *B.Scott* и др.) Газовое пламя отличается от дуговых и плазменных источников нагрева меньшими температурными градиентами, в результате чего в расчетах возможно учитывать его температурное распределение. Теория нагрева и охлаждения тел в средах с меняющейся температурой фундаментально рассмотрена Г.М.Кондратьевым,А.В.Лыковым,Г.Карслоу,А.Н.Гордовым и др. Для газопорошкового нагрева формул для расчета температур частиц не известно. Их получение и численное решение должны производиться при наличии данных о формирующих, скоростных, температурных и теплообменных параметрах двухфазного (пламя + порошок) потока.

Известные качественные показатели оплавленного слоя, нанесенного самофлюсующимися порошковыми сплавами, относятся к методам плазменного и газопламенного напыления (И.И.Фрумин,Л.И.Готлиб, Е.И.Январев и др.) Газопорошковый метод для их нанесения ранее не применялся.

Исходя из изложенного задачами настоящей работы явилось:

1. Изучение конструктивных параметров узла подачи порошка в газовое пламя по двухступенчатой инжекторной системе смешения с целью разработки газопорошковой горелки.
2. Исследование процесса нагрева частиц при переносе через пламя для оптимизации режимов нанесения порошка при наплавке.
3. Исследование свойств наплавленного металла применительно к порошковым сплавам отечественного производства.
4. Определение эффективности применения и промышленное внедрение аппаратуры и процесса газопорошковой наплавки.

Исследование конструктивных параметров подачи порошка в ацетилено-кислородное сварочное пламя.

Исследования проводили на макете горелки, позволяющем изменять геометрические размеры проходных каналов двухступенчатого инжекционно-смесительного узла. Порошок и газы подавали в горелку раздельно. Порошок – инжекцией, горючий газ (ацетилен) – инжекцией и средним давлением, окислитель (кислород) – под высоким давлением. Образование тройной смеси заканчивалось в смесительной камере наконечника. Такая конструкция обеспечивала устойчивую подачу порошка, нормальное образование горючей смеси и безопасность работы горелки.

Опыты проводили с помощью газового стенда, оснащенного регулирующей и измерительной аппаратурой (редукторы, манометры, вакуумметры, ротаметры). В качестве базовых расходных сечений d_{u_1} приняты проходные каналы инжекторов горелки "ГС-3".

Были исследованы проходные сечения второго (ацетиленового) d_{u_2} инжектора, канала транспортировки порошка, длина и объем камеры смешения порошка с кислородом. Влияние этих параметров оценивали по величине разрежения в каналах бункера и горючего газа при различных давлениях и расходах газов.

Установлено, что принципиальную работоспособность системы определяет сечение второго инжектора, регулирующее степень обжатия кислородно-порошковой струи. Его завышенные размеры снижают инжекцию горючего газа, при занижении возникает противодавление движению порошка. Оптимальные параметры инжекции отвечают экспериментальной зависимости (мм):

$$d_{u_2} = d_{u_1} + 0{,}6.$$

Изменение длины либо объема камеры смешения порошка с кислородом не приводит к суммарному увеличению разрежения системы. Роль этих параметров, таким образом, сводится к распределению инжектирующей силы кислородной струи. Диаметр камеры рекомендуется выбирать в 1–1,4 раза больше диаметра второго инжектора. Оптимальная длина камеры должна лежать в пределах 16–20 мм.

Определена область устойчивой подачи порошка по исследованным значениям коэффициента инжекции, оцениваемым отношением количества инжектируемого воздуха к количеству инжектирующего кислорода. Установлена возможность определения диаметров транспортирующего сечения d_n из следующего соотношения:

$$\frac{d_n}{d_{u_2}} = 0{,}88.$$

Фактические расходы порошка в результате однонаправленного действия сил собственного веса и инжекции через дозирующие каналы отражает зависимость (г/мин):

$$G = (0{,}15 \div 0{,}2) V_в,$$

где: $V_в$ – расход инжектируемого воздуха, л/час. Степень двухфазности при этом находится в пределах 0,8–1,6 кг/кг.

Приведенные соотношения и размеры внутренних каналов горелки обеспечивают устойчивую регулируемую подачу порошка без нарушения формы и тепловых характеристик пламени в следующих режимах:

Давления кислорода, кг/см^2: 2–4;
ацетилена, " : 0,1–0,25.
Расходы кислорода, м^3/час: 0,13–3,1;
ацетилена, " : 0,12–2,8;
порошка, кг/час: 0,5–5.

Исследована устойчивость состава пламени ($\beta = O_2/C_2H_2$) при подаче порошка в зависимости от величины инжекции, высоты слоя порошка в бункере, дисперсности частиц и диаметров порошковой дюзы и предложена зависимость для его расчетного определения.

Расчет нагрева частиц при движении порошка через пламя.

При газопорошковой наплавке отсутствует дополнительное оплавление порошкового сплава после нанесения. Следовательно, температуры частиц, контакта и подложки при наплавке должны соответствовать температуре плавления материала порошка. Это отвечает производительной и экономичной наплавке, т.к. достижение расплавленной частицей поверхности детали, нагретой до "запотевания", способствует снижению потерь порошка и создает благоприятные условия для физико-химического взаимодействия составляющих сплава в самом покрытии и в переходной к основному металлу зоне.

Попытки экспериментальной оценки температуры частиц при переносе оказались реализованы лишь для аргоновой плазменной струи. Для газового пламени спектральная пирометрия непригодна, вследствие подавления излучения частиц спектром многочисленных составляющих продуктов его горения. В таких условиях ценность приобретает объединение методов расчета и эксперимента, возможно более точно моделирующих резльный процесс.

Подавляющее большинство известных работ не ставило перед собой цели получения расчетно-теоретических зависимостей и производило выбор оптимальных условий нагрева порошка преимущественно экспериментальным путем. Существующие методы расчета температур частиц не учитывают температуру среды в качестве функции времени нагрева частиц и поэтому дают неполную оценку их действительных величин в зависимости от дистанции нанесения.

В настоящей работе решена задача аналитического описания зависимости температуры частиц от важнейших параметров переноса в двух зонах - ядре и факеле ацетилено-кислородного пламени, закономерности горения которого отражает температурное распределение с ростом температуры до максимального значения в показательной и последующим снижением по линейной функциям.

Рассмотрено дифференциальное уравнение теплопроводности Фурье для шара, решение которого удовлетворено граничным условиям III рода, содержащим функцию температурного распределения пламени, с помощью преобразования Лапласа и классическим методами.

а) зона ядра пламени:

$$T_I(z,\tau)=\frac{R}{2}\frac{ABiShmz\times expVB\tau}{(Bi-1)ShmR+mRChmR}-\sum_{n=1}^{\infty}\frac{K_n}{\mu_n}\frac{ASin\mu_n\frac{z}{R}}{\left(\frac{z}{R}+\frac{Rz\beta V}{a\mu_n^2}\right)}exp(-\mu_n F_o);$$

б) зона догорания пламени:

$$T_{II}(z,\tau)=T_m-CV(\tau-\tau_r)-\sum_{n=1}^{\infty}\frac{2\mu_n}{\mu_n-Sin\mu_n Cos\mu_n}\frac{Sin\mu_n\frac{z}{R}}{2R}\times$$

$$\times\int_0^R 2\left[T_m-CV(\tau-\tau_r)-T_I(z,\tau_r)\right]Sin\mu_n\frac{z}{R}\,dz\,exp\left[-\mu_n^2(F_o-F_{or})\right],$$

где: $T_{I,II}(z,\tau)$ -температура любой точки частицы радиуса R через τ времени полета в пламени со скоростью V;

A,B,C -коэффициенты распределения температуры пламени, имеющего максимальную температуру T_m;

a -коэффициент температуропроводности материала частицы с теплопроводностью λ;

$Bi=\frac{\alpha R}{\lambda}$ -критерий Био;

$F_o=\frac{a\tau}{R^2}$ -критерий Фурье;

m и K_n -постоянные комплексы:

$$m=\sqrt{\frac{VB}{a}};\quad K_n=\frac{2(Sin\mu_n-\mu_n Cos\mu_n)}{\mu_n-Sin\mu_n Cos\mu_n};$$

α -коэффициент теплообмена пламени с частицами;
μ_n -корни характеристического уравнения:

$$tg\,\mu_n = -\frac{1}{Bi-1}\mu_n .$$

Полученные зависимости отражают пространственно-временную картину распространения тепла в частице, содержат важнейшие переменные и постоянные параметры потока частиц и пламени и пригодны для анализа и числовой обработки.

Исследование процесса переноса частиц через пламя.

За срезом сопла горелки порошок перемещается в направлении детали в потоке сгорающего газа. Образуется аэродинамическая дву..фазная неизотермическая система со взвешенным и направленным прямотоком частиц.

Температура, скорость, траектория движения частиц формируются под воздействием газовой струи, имеющей более высокие начальные тепловые и напорные параметры, что при наличии термически подготовленной подложки создает необходимые условия активации для сплавления порошкового сплава и основного металла.

Траектория движения частиц характеризует выгодность их положения относительно высокотемпературной осевой области пламени. Скорость движения частиц определяет время пребывания частиц в пламени между соплом горелки и деталью. Количественной характеристикой конвективной теплопередачи от пламени к частице служит коэффициент теплообмена. Важное значение имеют температура, скорость и теплопроводность греющей среды – пламени.

Для определения распределения частиц в объеме струи поток частиц направляли в отверстия трубчатых датчиков, разводящих порошок в отдельные емкости. Поля значений концентраций частиц, выражаемые в процентах, исследовали в поперечном потоку направлении и по удалению от сопла. Полученные зависимости концентраций удовлетворяют нормальному распределению. Влияние на распределение скорости истечения горючей смеси (80–145 м/сек) и размеров частиц (50–160 мкм) мало. Наиболее существенно поток частиц рассосредотачивает увеличение расхода горючей смеси (660–2400 л/час) либо удаление от сопла. Установлено, что в осевой области пламени, построенной по размерам ядер пламени, ранее

определенных М.Х.Шорюровым, при удалении от сопла до 100 мм находится основная масса частиц (≥70%). Это создает сходные по температуре пламени условия нагрева частиц и повышает эффект самофлюсования сплавов за счет исключения контакта частиц с атмосферой.

Скорость полета частиц в пламени определялась на устройстве с вращаемым диском и скоростной киносъемкой. В первом случае скорость частиц рассчитывали по числу оборотов в момент прекращения проскока частиц в отверстие вращаемого диска, во втором - по фиксируемому на кадрах треку частиц. Исследовано влияние на скорость полета удаления от сопла, мощности пламени и размера частиц, в зависимости от которых скорость частиц составила 5-19 м/сек. Перемещение порошка в пламени подчиняется общим закономерностям движения в свободных газовых струях. Установлено отсутствие, в отличие от плазменных аппаратов, выраженного участка разгона частиц в присопловой зоне.

Скорость, плотность, теплопроводность и кинематическую вязкость среды нагрева рассчитывали по температуре, скоростному напору и составу струи ацетилено-кислородного пламени, приведенным в работах Г.Б.Евсеева, А.Н.Казанского, Н.Н.Клебанова. Температура факельной области в зависимости от мощности пламени определялась экспериментально. Установлено, что зона горения характеризуется локальной пульсацией осевой скорости, величина которой превышает примерно в 4 раза значение скорости истечения смеси из сопла.

Интенсивность конвективной теплопередачи оценивалась по величине коэффициента теплообмена пламени с частицами. Его расчетное определение производилось из критериального соответствия чисел Nu и Re (по обобщенным данным З.Р.Горбиса). Экспериментальная методика сводилась к измерению температурного напора при обдуве пламенем неподвижно закрепленной частицы, представляющей собой горячий спай W-Re термопары. Установлена интенсификация теплообмена в области, прилегающей к фронту горения и при увеличении количества кислорода в составе горючей смеси. Величины коэффициентов теплообмена достигают 0,5 кал/см^{2}сек$^\circ$С, что превышает его известные значения для других случаев применения пламени в процессах газопламенной обработки металлов.

Согласно аналитическому описанию нагрева частиц в пламени, полученные данные о закономерностях движения порошка достаточны

для его численной реализации. Расчеты температур производились вычислительной машиной БЭСМ-4 [x/] и показали существенную неоднородность тепловой обработки частиц при переносе через пламя. Так достигаемая частицами размерами от 300 до 40 мкм температура может составлять соответственно от 400 до 2000°С. Таким образом при увеличении степени дисперсности частиц и удалении от сопла возрастает экономичность нагрева порошка газовым пламенем.

За критерий оценки температуры частиц в работе использован коэффициент наплавки, характеризующий потери порошка за счет плохо прогретых частиц и количественно определяемый переходом распыленного порошка (g_1) в металл наплавки (g_2) в условиях равенства температуры подложки.

$$\eta = \frac{g_2}{g_1} \times 100\%.$$

Для исключения ее влияния экспериментально исследовано температурное поле пластины-образца при нагреве движущимся на разных удалениях пламенем наплавочной горелки. Определялись значения скоростей движения горелки, обеспечивающих наиболее равномерное распределение температуры в зонах контакта с частиц с поверхностью пластины с центральным значением, равным 1000°С.

В таких условиях коэффициент наплавки определяли для твердых сплавов на никелевой и железной основах, а также бронзы и меди. Удаление сопла от пластины либо снижение размера частиц приводят к росту коэффициента наплавки, т.е. снижают потери порошка. Характер изменения коэффициента наплавки по удалению от сопла и дисперсности порошка соответствует зависимости расчетной температуры, определяемой при тех же параметрах. В этой зависимости температуру частиц целесообразно рассматривать в качестве безразмерной, отнеся ее к температуре плавления материала порошка. Правомерность такого параметра вытекает из установленного отсутствия градиента температуры по сечению частицы ($Bi \ll 1$). Установленная зависимость коэффициента наплавки от относительной температуры частиц достаточно пропорциональна, а размещение опытных точек ее образующих не имеет существенного разброса. Это подтверждает правильность принятых исходных положений и проведенных

[x/] Проведены в Вычислительном центре Латвийского государственного университета.

расчетов и экспериментов. Установленные закономерности приводят к выводу о целесообразности применения для газопорошковой наплавки (удаления от сопла до 50 мм) порошков, имеющих при распределении до 150–200 мкм, средний размер частиц не более 80–90 мкм. Это наибольшая величина частиц, присутствие которых в полидисперсном порошке обеспечит появление жидкой ванны на поверхности деталей, а следовательно и принципиальную возможность процесса наплавки. При наплавке более крупным порошком сопло необходимо удалять на большее расстояние, что снижает интенсивность тепловой подготовки поверхности. Производительность наплавки будет снижаться, если не применять источники дополнительного предварительного подогрева.

Свойства наплавленного металла.

Газопорошковая наплавка обычно применяется для защиты деталей от износа в результате трения поверхностей, динамического воздействия, эрозии, наличия агрессивных сред либо повышенных температур. Поэтому характер испытаний главным образом определяется спецификой эксплуатации конкретной детали или узла.

Этот способ позволяет без особых технологических трудностей получать совершенно беспористое покрытие с пределом прочности на отрыв не менее 55 кг/мм^2 при отсутствии перемешивания.

В СССР наиболее перспективны для газопорошковой наплавки промышленные сплавы марок: ПГХН80СР-2,3,4; СНГН; ФБХ6-2, разработанные ИЭС им. Е.О.Патона, ВНИИ твердых сплавов, ВНИИПТ-Углемаш для процессов плазменного и газопламенного напыления и наплавки ТВЧ, содержащих такие элементы, как C, Cr, B, Si, с использованием в качестве основы никеля или железа.

Наплавленный металл твердых сплавов отличается высокой плотностью, отсутствием трещин и шлаковых включений. Его структура состоит из сложной эвтектики, твердого раствора и избыточных фаз – карбидов и боридов хрома, имеющих иглообразную, шестигранную и неправильную формы. Протяженность зоны сплавления с основным металлом не превышает 0,04 мм. Распределение твердости и состава (спектральный анализ) по глубине наплавленного металла равномерно. В приграничной зоне имеет место падение содержания хрома диффузионной природы. Наплавка порошковых сплавов (191–210 HB) на чугун не приводит к появлению структур

отбела и закалки. Такое качество наплавленного металла свидетельствует о достаточно благоприятных температурно-временных условиях нагрева, расплавления и затвердевания наносимых порошковых сплавов.

Износостойкость наплавленного металла при абразивном изнашивании определяли на машине "НК" (неподвижное кольцо) по методике ГосНИИ машиноведения. Лучшие результаты получены для сплавов с увеличенным количеством твердой фазы в структуре (Сормайт, ФБХ6-2). Стойкость сплавов никелевой основы равной твердости в I,2-I,6 раза ниже. У сплавов этой группы, имеющих значения твердости от 35 до 55*HRC*, изменение износостойкости несущественно. По глубине наплавленного металла (обследовалась зона до I мм) износ всех сплавов равномерен; имеющие место отклонения от средних значений не выходят за пределы I0-I5%.

Одной из характеристик жаропрочности наплавленного металла является его твердость при повышенных температурах. Горячую твердость измеряли по методике ЦНИИТмаш. Наименее устойчивым к повышению температуры по темпу падения твердости оказался сплав ФБХ6-2. По абсолютной величине наибольшая твердость при температуре 580°С зафиксирована у сплава СНГН (325*HB*), наименьшая - у сплава Сормайт (I85*HB*). В сплавах на основе железа с ростом температуры быстрее нарушается стабильность структурного состояния и прочность межатомных связей, определяющих ход процесса разупрочнения.

Практическое применение газопорошковой наплавки.

Эффективность разработанной аппаратуры и принципиальной технологии газопорошковой наплавки и рекомендации по наплавочным материалам проверяли в производственных условиях применительно к широкому классу деталей, имеющих различные формы поверхности, марку материала и требования к покрытию.

В угольном машиностроении повышение надежности добывающих комплексов связано, в частности, с увеличением срока службы приводных звездочек для круглозвенных цепей скребковых конвейеров типа СП-68. Электроискровая и дуговая наплавки металлокерамическими электродами оказываются либо малопроизводительными, либо требуют дополнительной обработки для сохранения профиля зуба. После газопорошковой наплавки по результатам шахтных

испытаний стойкость звездочек возросла в среднем в I,5 раза (конвейером перегружено 250 вместо I50 тыс. тонн угля). По расчету ВНИИПТУглемаш экономия от наплавки звездочек на спроектированном и изготовленном манипуляторе (24 венца за смену) по Харьковскому заводу "Свет шахтера" составит свыше I00 тыс.руб. в год.

В результате разработки ВНИИЛитмаш порошкового сплава марки НПЧ впервые осуществлен процесс порошковой заварки дефектов чугунного литья обработанных поверхностей станин на ряде предприятий Министерства станкостроительной и инструментальной промышленности СССР. Дефекты устраняются в любом пространственном положении, а наплавленный металл имеет требуемые твердость, обрабатываемость и хорошие декоративные данные. По расчету завода "Станколит" экономический эффект от сокращения на предприятии брака литья на I% составит 22 тыс. руб. в год.

Порошковая наплавка внедрена также на Тамбовском заводе "Полимермаш" при упрочнении давильных шнеков химических машин и заводе им. "Владимира Ильича" при восстановлении штампов для глубокой вытяжки изделий из тонколистовых материалов.

По результатам промышленных и стендовых испытаний газопорошковая наплавка повысила срок службы лопаток дымососов ГРЭС, сцепок шахтных вагонеток, кулачков клиновых захватов и т.д.

Результаты внедрения процесса газопорошковой наплавки подтверждают основные выводы исследований, надежность разработанной аппаратуры и универсальность процесса.

Выводы.

I. При газопорошковой наплавке присадочный порошковый материал подается через сварочное пламя, в результате чего частицы достигают детали в высокопластичном или расплавленном состоянии и после затвердевания образуют слой наплавленного металла, пригодный для восстановления и упрочнения ровных и фасонных поверхностей, кромок, углов и устранения раковин литья деталей машин.

2. Впервые в газопламенной технике для горелочного устройства использован принцип двухступенчатого инжекторного смешения порошка с компонентами горючей смеси.

3. Установлены оптимальная форма и размеры инжекционно-смесительного узла, в котором происходит обжатие кислородно-порошковой струи для создания эффекта вторичной инжекции горючего газа. Исследованы конструктивные параметры ввода порошка в пламя в

количестве до 5 кг/час.

4. Аналитически решена задача о нагреве порошка при движении через пламя в зависимости от распределения температуры потока, удаления от сопла, размеров и скорости движения частиц и теплопередачи от пламени.

5. Экспериментально и расчетными методами исследованы параметры переноса частиц за соплом горелки. Распределение частиц имеет высокую концентрацию по оси. Скорости полета частиц в пламени подчиняются закономерностям движения в свободных газовых струях и не превышают в среднем I5 м/сек. Теплопередача к порошку в сравнении с другими видами газопламенного нагрева возрастает и достигает 0,5 кал/см^{2}сек^{0}С. Определены температуры факельной области и теплофизические характеристики струи сгорающих газов пламени.

6. С помощью ЭВМ рассчитана температура частиц при движении порошка в пламени. Значения температур достигают для частиц размерами 300–40 мкм соответственно 400–2000^{0}С. Установлено, что температура частиц однозначно определяет полноту перехода распыленного порошка в металл наплавки при равной температуре подложки. Рекомендуемый для наплавки средний размер частиц при распределении до I50–200 мкм не должен превышать 80–90 мкм.

7. Свойства наплавленного металла удовлетворяют требованиям сопротивления абразивному, коррозионному и др. видам изнашивания при нормальных и повышенных температурах. Распределение твердости и содержание карбидообразующих элементов в наплавке достаточно равномерны и мало зависят от ее толщины. Зона перемешивания наплавленного и основного металлов практически отсутствует.

8. Разработан массовый промышленный образец газопорошковой горелки. Конструкция освоена и серийно выпускается. Горелка защищена авторским свидетельством и награждена медалью ВДНХ.

9. С созданием газопорошковой аппаратуры и процесса стало возможным впервые в отечественной технике простыми средствами в условиях обычного газосварочного поста наплавлять покрытия, по свойствам не уступающие плазменному и газопламенному напылению твердых сплавов.

I0. Газопорошковая наплавка внедрена на ряде предприятий в процессах упрочнения звездочек угольных конвейеров, заварки дефектов чугунного литья, упрочнения давильных шнеков химических машин, восстановления штампов для глубокой вытяжки изделий из тонколистовых материалов и т.д.

II. Применение процесса газопорошковой наплавки экономически оправдано как для уникальных и срочных работ, так и для серийного производства - в условиях небольших ремонтных мастерских и специализированных предприятий.

Основные положения диссертации опубликованы в работах:

В.В.Федосов. Горелка ГАЛ-2-68 для порошковой наплавки твердых сплавов. "Сварочное производство",1969, № 5.

В.В.Федосов. Газопламенная наплавка порошковых материалов. Материалы XIУ Московской научно-технической конференции сварщиков. М., 1969.

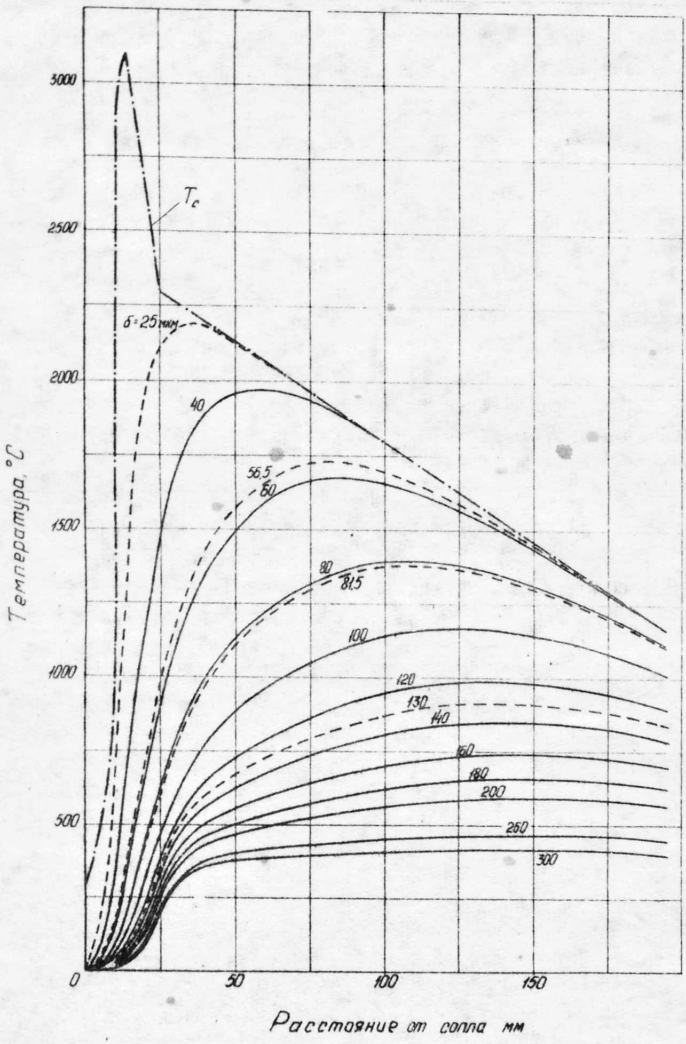
А.Н.Шашков,В.В.Федосов. Упрочнение деталей машин газопорошковой наплавкой. Инф.листок ВНИИАВТОГЕНМАШ № 262, ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, 1969.

Бюллетень изобретений и товарных знаков. 1970, № 10. Авторское свидетельство № 265029.

В.В.Федосов. К расчету теплового состояния частиц при газопламенной наплавке порошковых материалов. Труды ВНИИАВТОГЕНМАШ. Вып.ХУП."Машиностроение",М.,1970.

В.В.Федосов.Выбор оптимальных параметров газопорошковой наплавки. Материалы научно-технической конференции "Современные методы наплавки и износостойкие наплавочные материалы". Харьков, 1970.

В.В.Федосов. О некоторых характеристиках двухфазного потока при газопорошковой наплавке. Труды ВНИИАВТОГЕНМАШ. Вып. ХУШ-XIX. "Машиностроение", М., 1972.



Фиг.I. Температура частиц разных размеров при движении порошка в ацетилено-кислородном пламени.