

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

УДК 621.762

ИНОЗЕМЦЕВА Наталья Владимировна

УСЛОВИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ
СХВАТЫВАНИЯ ПОРОШКОВЫХ ПОКРЫТИЙ
С МАТЕРИАЛОМ ОСНОВЫ ПРИ ИХ СОВМЕСТНОЙ
ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

Специальность 05.03.05 - Технологии и машины обработки давлением

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени кандидата технических наук

Минск - 2007

Работа выполнена в Гомельском государственном техническом университете им Л.О.Сухого.

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент
Бобарикин Юрий Леонидович. Гомельский
государственный технический университет
имени П.О.Сухого, доцент кафедры
«Обработка материалов давлением».

Официальные оппоненты: доктор технических наук, старший
научный сотрудник Алифанов Александр
Викторович ФТИ НАН Беларуси,
заведующий отделом объемных гетерогенных
систем;

кандидат технических наук, доцент
Горанский Георгий Георгиевич, БНТУ,
доцент кафедры «Порошковая металлургия,
сварка и технология материалов».

Оппонирующая организация: Институт механики металлополимерных
систем им. В. А. Белого НАН Беларуси,
г. Гомель.

Защита состоится " 27 " апреля 2007 г. в 14 часов на заседании
совета по защите диссертаций Д 02.05.03 Белорусского национального
технического университета по адресу: 220013 г. Минск проспект
Независимости, 65, тел. 2922404.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского
национального технического университета.

Автореферат разослан "26" марта 2007 г.

Ученый секретарь
совета по защите диссертаций,
доктор технических наук


О.Г. Девойно
© Иноземцева Н.В., 2007
© БНТУ, 2007

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации Способы нанесения металлических порошковых покрытий на металлическую основу в технологиях плакирования методом совместной пластической деформации основы и порошка покрытия являются высокопроизводительными и ресурсосберегающими. Известные способы нанесения порошковых металлических покрытий с помощью операций обработки металлов давлением, обеспечивают получение слоистых коррозионно-стойких, антифрикционных, электротехнических, инструментальных, износостойких материалов.

Технология плакирования металлов состоит из подготовки поверхности основы и порошкового материала покрытия, совместной пластической деформации металлической основы и порошкового материала покрытия, а также дополнительной обработки полученного соединения металлической основы со сформированным порошковым покрытием.

Стадия совместной пластической деформации основы и порошка формирует геометрию основы и покрытия из порошка в изделии, обеспечивает их схватывание. Эта стадия выполняется с помощью операций обработки металлов давлением, например, таких как обратное выдавливание, волочение, прокатка.

Одной из проблем является достижение качественного соединения слоев на стадии их совместной пластической деформации, обеспечивающее неразъемное соединение покрытия с основой. На прочность соединения оказывают влияние свойства соединяемых металлов и параметры процесса плакирования. В связи с большим количеством влияющих параметров возникают затруднения при разработке и проведении технологических процессов плакирования, обеспечивающих качественное соединение слоев. Известные решения этой проблемы выражены через эмпирические величины для горячей деформации. Это снижает их эффективность. Поэтому решение проблемы повышения прочности соединения между покрытием и основой через прогнозируемые технологические параметры плакирования для разных температур является актуальной задачей.

Связь работы с крупными научными программами, темами Исследования, результаты которых составляют содержание данной диссертационной работы, выполнялись в рамках межвузовской программы фундаментальных исследований «Металлургия» по теме: «Разработать научные основы и технологические принципы структурной регламентации материалов машиностроительного и металлургического производства», задание ГБ 322/02.03 по теме «Разработка научных основ формирования металлопокрытий совместной пластической деформацией». Выполнялась в период с 1996 по 2000 г. Номер государственной регистрации 19962072.

Цель и задачи исследования. Цель настоящей работы - обосновать выбор условия схватывания между металлической основой и порошковым покрытием.

тием при их совместной пластической деформации и рекомендовать рациональные технологические режимы деформации в технологиях плакирования.

Для достижения указанной цели необходимо решить следующие задачи:

-Исследовать закономерности схватывания между металлической основой и порошковым покрытием, а также влияние технологических режимов деформации и свойств соединяемых материалов на качество соединения;

-Установить величину сдвиговых деформаций в зоне контакта соединяемых поверхностей на стадии их совместной пластической деформации в технологиях плакирования;

-Определить температуру, обеспечивающую соединение между основой и покрытием на стадии их совместной пластической деформации в технологиях плакирования;

-Исследовать влияние технологических параметров процесса совместной пластической деформации основы и покрытия в технологиях плакирования на продолжительность активации контактной поверхности основы;

-Установить влияние технологических параметров процесса совместной пластической деформации основы и покрытия в технологиях плакирования на продолжительность релаксации остаточных напряжений в покрытии.

Объект и предмет исследования Объект исследования - процесс совместной пластической деформации металла с порошковыми металлосодержащими покрытиями. Предмет исследования - зона контакта соединяемых поверхностей основы и покрытия на стадии их совместной пластической деформации.

Гипотеза В работе сформулировано и доказывается научное предположение о том, что для схватывания между металлической основой и порошковым покрытием при плакировании необходимо выполнение условия: продолжительность релаксации внутренних напряжений в порошковом металлосодержащем слое должна быть меньше продолжительности активации металлической основы, а продолжительность совместной пластической деформации должна быть больше продолжительности активации металлической основы в зоне соединения. Выполнять это условие предполагается путем назначения необходимых величин скорости процесса деформирования, степени деформации, температуры нагрева зоны соединения, геометрического параметра очага деформации.

Методология и методы проведения исследований Методология исследований заключается в получении аналитических зависимостей, определяющих схватывание между покрытием и основой с последующей их экспериментальной проверкой.

Теоретические исследования проводились на основе основных положений теории пластичности и известных механизмов схватывания металлов.

Экспериментальные исследования проводились на натуральных образцах, полученных на лабораторных установках, реализующих плакирование прокаткой, волочением и обратным выдавливанием в условиях ПТУ им. П.О. Сухого.

Напряженно - деформированное состояние образцов исследовалось с помощью метода координатных сеток. Структурные исследования проводили с помощью оптической и электронной микроскопии, а также атомно-сиюювого зондирования,

Научная новизна и значимость полученных результатов Установлено, что условием схватывания между покрытием и основой является превышение продолжительности совместной деформации порошка и основы над продолжительностью активации контактной поверхности основы, которая должна быть больше продолжительности релаксации остаточных напряжений в порошковом покрытии,

Определено, что данное условие выполнимо посредством назначения определенных величин скорости процесса деформирования, степени деформации, температуры нагрева зоны соединения, геометрического параметра очага деформации. На основании результатов теоретических и экспериментальных исследований впервые получена аналитическая зависимость для прогнозирования схватывания при плакировании металлов порошковыми металлосодержащими покрытиями.

Значимость полученных результатов состоит в дальнейшем развитии представления об условиях возникновения схватывания между покрытием и основой при их соединении совместной пластической деформацией. Предполагается определять необходимые режимы деформации по установленным зависимостям, а свойства материалов учитывать через энергию активации процесса, контролирующего релаксацию внутренних напряжений в покрытии и свободную энергию образования перегибов дислокаций для материала покрытия,

Практическая значимость полученных результатов Практическое значение работы заключается в разработке технологических рекомендаций, позволяющих управлять качеством соединения основы с покрытием.

Результаты работы могут быть использованы: при совершенствовании и разработке технологий в области плакирования; при прогнозировании качества соединения слоев; при оценке энергетических и технологических возможностей осуществления процесса плакирования.

В результате выполненных экспериментальных исследований разработан новый технологический процесс плакирования прокаткой стальной полосы порошковым композиционным покрытием, реализованный в условиях лаборатории кафедры «Обработка материалов давлением».

Результаты исследований применены при изготовлении композиционных колец в ПТУ им. П.О.Сухого для насосов перекачки молока, выпускаемых ОАО «Гомельагрокомплект». Экономический эффект за период с 1999 по 2004 г. о. д составил 7200 долларов США по курсу НБ Республики Беларусь.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту

1. Положение о том, что условием схватывания между металлической основой и порошковым металлосодержащим покрытием является соотноше-

ние между длительностью совместной деформации порошка и основы, длительностью активации контактной поверхности основы и длительностью релаксации остаточных напряжений в покрытии в технологиях плакирования материалов.

2. Аналитические выражения для расчета длительности активации контактной поверхности основы и длительности релаксации остаточных напряжений в покрытии, включающие свойства используемых материалов и основные технологические параметры процесса.
3. Результаты экспериментальной оценки интенсивности сдвиговой деформации и средней объемной температуры в зоне деформации, подтверждающие достоверность теоретических исследований названных величин.
4. Результаты экспериментальной оценки продолжительности активации контактной поверхности основы и продолжительности релаксации остаточных напряжений в покрытии при плакировании.
5. Результаты экспериментальной оценки условия схватывания между металлической основой и порошковым покрытием на стадии их совместной пластической деформации в технологиях плакирования прокаткой, волочением и обратным выдавливанием.

Личный вклад соискателя Соискателем получены аналитические зависимости для условия схватывания между плакирующим покрытием и покрываемой основой при их совместной пластической деформации в технологиях плакирования обратным выдавливанием, прокаткой и волочением, аналитическое выражение для температуры в зоне деформации в технологиях плакирования процессами обработки металлов давлением. Соискатель принимал участие в постановке задач, разработке методик эксперимента. Соискателем сформулированы основные выводы диссертации. работа проводилась под руководством Ю.Л.Бобарикина. Работа, связанная с экспериментальным исследованием процесса волочения, проводилась совместно с О.М.Валицкой. Экспериментальные исследования и интенсивности сдвиговой деформации проводились совместно с В.Ф.Буренковым. Исследования активации контактной поверхности основы проводились совместно с Н.И.Базилеевой. Участие других соавторов выражалось в подготовке и проведении экспериментов, обработке и обсуждении результатов исследований.

Апробация результатов диссертации Результаты, полученные в ходе исследований, докладывались на следующих международных научно-технических конференциях: «Современные материалы, оборудование и технологии упрочнения и восстановления деталей машин» (г. Новополоцк, 1999г.); «Новые конкурентоспособные и прогрессивные технологии, машины и механизмы в условиях современного рынка» (г. Могилев, 2000 г.); «Современные проблемы машиноведения» (г. Гомель, 2000, 2002, 2004 гг.); «Металл 2001» (г. Жлобин, 2001 г.); «Литье и металлургия в XXI в. Беларусь» (г. Минск, 2001 г.);

«Молодежная научно-техническая конференция вузов приграничных регионов славянских государств» (г. Брянск, 2001 г.); «Прогрессивные технологии и оборудование кузнечно-штамповочного производства» (г. Москва, 2003 г.); «Прогрессивные технологии обработки материалов давлением» (г. Минск, 2004 г.); научно-практической конференции «ТРАНСТЕХ-2002» (г. Гомель, 2002 г.) и белорусско-польском семинаре инновационных разработок (Брест, 2002 г.)

Опубликованность результатов Список публикаций по теме диссертации включает 20 наименований. Среди них 9 статей в научных журналах, 5 - в сборниках научных трудов и материалов конференции и 6 тезисов докладов на конференциях. В том числе без соавторов опубликована 1 статья. Общее количество страниц опубликованных материалов - 94, из них 42 - личный вклад соискателя.

Структура и объем диссертации Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения и списка использованных источников. Полный объем диссертации составляет 112 страниц; объем, занимаемый иллюстрациями, - 10 страниц, списком использованных источников - 5 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении и общей характеристике обоснован выбор темы диссертации, представлены актуальность рассматриваемой задачи, основные положения, выносимые на защиту, рассмотрены наиболее значимые результаты исследований, научная и практическая значимость работы.

В первой главе представлен анализ схем совместной пластической деформации порошка и основы методами обработки материалов давлением в технологиях плакирования. На основании имеющегося научного материала дан краткий обзор и анализ основных гипотез схватывания металлов в твердом состоянии, сформулирована цель исследований и поставлены задачи.

В литературных источниках приводится условие схватывания, выраженное через температуру обработки, скорость и усилие деформации металла в зоне соединения, физико-механические свойства металлов. Приведенное условие используется для горячей деформации разнородных монолитных металлов в твердой фазе. Таким образом, условие не пригодно для использования при холодных деформациях, т.е. при температурах ниже температур рекристаллизации металлов, но для процессов плакирования актуально условие схватывания при температурах выше и ниже температур рекристаллизации. В зависимостях, раскрывающих компоненты данного условия, используются эмпирические параметры. Поэтому это условие невозможно использовать для вновь разрабатываемых процессов, в связи с отсутствием экспериментального материала. Но при разработке новых технологических процессов необходимо иметь прогноз возможности схватывания покрытия с основой, что значительно повысит эф-

фективность разработки. Для этого необходимо использовать теоретическое условие схватывания, выраженное через известные свойства соединяемых материалов и технологические режимы процессов плакирования.

Во второй главе исследованы основные закономерности образования соединения между металлической основой и наносимым покрытием.

При плакировании материал основы должен быть менее пластичным сравнительно с материалом покрытия. Это исключает трещинообразование в покрытии. Поэтому интенсивность пластической деформации основы будет меньше, чем покрытия. В этом случае необходимо иметь достаточную активацию поверхности основы для ее соединения с покрытием. Так как покрытие более пластично относительно основы, то достаточным является релаксация внутренних напряжений в покрытии. А достижение релаксации внутренних напряжений в менее пластичной основе при этом окажется не обязательным. Вследствие этого для схватывания необходимо выполнение условия [1, 3, 5-11, 13, 16-18, 20]:

$$t_{\partial} \geq t_a \geq t_p, \quad (1)$$

где t_{∂} - продолжительность совместной пластической деформации или продолжительность перемещения материала через зону деформации, с; t_a - продолжительность активации поверхности менее деформируемой основы в зоне соединения, с; t_p - продолжительность релаксации остаточных напряжений в покрытии, с.

Полагается, что схватывание образуется в активных центрах, являющихся следствием выхода дислокаций к поверхности в зоне контакта. В этом случае длительность активации всей поверхности основы при любом способе обработки металлов давлением можно выразить в виде:

$$t_a = \frac{L \cdot b}{\dot{\epsilon} \cdot S}, \quad (2)$$

где L - путь дислокации до барьера в материале основы, м, который определяется по известной зависимости; b - модуль вектора Бюргерса для материала основы, м; $\dot{\epsilon}$ - интенсивность скоростей деформации материала основы в зоне соединения, $1/с$; S - изменение площади активного центра в месте выхода дислокаций к поверхности основы в зоне соединения, $м^2$.

Продолжительность релаксации определяется по формуле [1, 3, 5-11, 13, 16-18, 20]:

$$t_p = t_0 \exp\left(\frac{U}{R \cdot T}\right), \quad (3)$$

где t_0 - период собственных колебаний атомов около равновесного положения, $t_0 = 10^{-13} с$; R - универсальная газовая постоянная; T - температура в зоне деформации, К; U - энергия активации процесса, контролирующего релаксацию внутренних напряжений в покрытии, которая определяется для процессов, про-

текающих при $T \leq 0,5T_{m\partial}$ как энергия термически активируемых процессов, а для процессов при $T > 0,5T_{m\partial}$ как энергия активации самодиффузии.

Плотность дислокаций в зоне контакта ρ_{∂} , которая необходима при расчете параметров S , L определяется по расчетной зависимости [2, 8, 9, 11, 14]:

$$\rho_{\partial} = \frac{v_n \gamma_{max} (\gamma_{max} + 2)}{2 \cdot l_{\partial} \cdot (\gamma_{max} + 1) \cdot b \cdot v_{\partial} \exp\left(-\frac{A}{k^* \cdot T}\right)}, \quad м^{-2}, \quad (4)$$

где l_{∂} - длина очага деформации, м; v_n - скорость процесса деформирования, $м/с$; γ_{max} - максимальная угловая деформация на поверхности металлической основы в зоне соединения, равная $\gamma_{max} \approx \gamma_i$; γ_i - интенсивность поверхностной сдвиговой деформации основы для каждого процесса плакирования; v_{∂} - скорость звука в материале, где движутся дислокации; k^* - постоянная Больцмана; A - свободная энергия образования перегибов дислокаций для материала основы, Дж [2].

Интенсивность сдвиговой деформации основы для процесса обратного выдавливания определяется по формуле [1, 10, 14, 17]:

$$\gamma_i = \frac{2}{3} \sqrt{(\epsilon_{\rho} - \epsilon_{\theta})^2 + (\epsilon_{\theta} - \epsilon_z)^2 + (\epsilon_z - \epsilon_{\rho})^2} + \frac{3}{2} (\gamma_{z\rho}^2 + \gamma_{\rho\theta}^2 + \gamma_{\theta z}^2), \quad (5)$$

$$\epsilon_{\rho} = \frac{d}{2} \sqrt{2} \cdot \frac{z}{\sqrt{\left(d^2/2 \cdot \operatorname{tg}(C)^2 - z^2\right) \cdot \left(d^2/2 - \rho^2\right)}} \left(\frac{B}{\cos(C)} - \frac{d\sqrt{2}}{2\rho} \right),$$

$$\gamma_{z\rho} = \left(\frac{d\sqrt{2}}{2} \right) \cdot \frac{d\sqrt{2} \cos(C) - 2\rho \cdot B}{\sqrt{\left(d^2 \operatorname{tg}(C)^2 - 2z^2\right)}} + \frac{d\sqrt{2} \cdot z \cdot (2\rho + Bd \cos(C)\sqrt{2})}{2\rho \cdot \cos(C) \sqrt{\left(d^2 \operatorname{tg}(C)^2 - 2z^2\right)} \sqrt{d^2 - 2\rho^2}},$$

$$\epsilon_{\theta} = \frac{d}{2} \cdot \frac{\sqrt{2} \cdot B}{\rho} \cdot \cos(C), \quad C = \left(\arcsin\left(\frac{\rho\sqrt{2}}{d}\right) \right), \quad B = \arcsin\left[\frac{z\sqrt{2}}{d \operatorname{tg}(C)}\right].$$

d - внутренний диаметр проштаго отверстия, м; ρ - координата, определяющая положение точки на дуге контакта, м;

Интенсивность сдвиговой деформации основы для процесса волочения определяется по формуле [5, 10, 11, 14]:

$$\gamma_i = \frac{2}{3} \sqrt{2 \left(\frac{\cos(\arcsin \frac{z}{R}) - \cos \alpha}{\cos \alpha - \cos(\arcsin \frac{z}{R}) + \frac{z}{R}} \right)^2 + \frac{3}{2} \frac{z^2}{(R^2 - z^2)}}, \quad (6)$$

где z - координата, определяющая положение точки на дуге контакта, м; R - радиус закругления инструмента, м; α - угол радиусной зоны инструмента, рад; r_0 - радиус заготовки до деформации, м.

Деформационное тепловыделение учитывается только в металлической основе, так как объем металлической основы в очаге совместной деформации составляет от 97,5 до 99,5 %. На основании этих предположений была получена

расчетная формула для данной температуры в зоне деформации [1-3, 5-11, 12, 14, 17, 18]

$$T = T_0 + \frac{(A_T + A_{II})k_d \cdot \dot{\epsilon}}{2c_0\rho_0V + t_{\partial}v_n(c_1\rho_1S_k + c_2\rho_2S_k^* + c_0\rho_0S_k^2)}, \quad (7)$$

где A_T - работа сил контактного трения, Дж; A_{II} - работа пластической деформации, Дж; c_0 - удельная теплоемкость материала основы Дж/(кг К); ρ_0 - плотность материала основы, кг/м³; T_0 - начальная температура в зоне деформации, К; V - объем очага деформации, м³; S_k - площадь поверхности контакта очага деформации с воздухом, которая определяется из геометрических особенностей очага деформации для используемого способа плакирования, м²; c_1, ρ_1 - соответственно удельная теплоемкость и плотность воздуха; S_k^* - площадь поверхности контакта очага деформации с инструментом, которая определяется из геометрических особенностей очага деформации для используемого способа плакирования, м²; c_2, ρ_2 - соответственно удельная теплоемкость и плотность материала инструмента; S_k^* - площадь поверхности контакта очага деформации с недеформируемой частью заготовки, которая определяется из геометрических особенностей очага деформации для используемого способа плакирования, м².

Работа пластической деформации для процесса волочения определяется по зависимости [5, 10, 11, 14]

$$A_{II} = k \cdot \ln \left(1 - \frac{d^2}{d_0^2} \right) \sqrt{3} \cdot \pi \cdot R^2 \int_0^{l_0} \left[\cos \left(\arcsin \left(\frac{z}{R} \right) \right) - \cos \alpha \right]^2 dz, \quad (8)$$

где d_0 - диаметр заготовки до деформации, м; d - диаметр заготовки после деформации, м; k - постоянная пластичности.

Работа пластической деформации для процесса обратного выдавливания определяется по зависимости [1, 10, 14, 17]

$$A_{II} = \frac{\pi}{3} \cdot h_{\partial} \left(\frac{3}{2}d - h_{\partial} \right) \cdot k \cdot \ln \left(1 - \frac{d^2}{d_0^2} \right) \cdot \sqrt{3}, \quad (9)$$

где h_{∂} - высота пластически деформируемой зоны при обратном выдавливании, находящаяся под торцом пуансона, м.

Работа пластической деформации для процесса прокатки определяется по зависимости [3, 6, 9, 18]

$$A_{II} = k \cdot l \cdot b^* \cdot h_{cp} \cdot \ln \left(1 - \frac{\Delta h}{h_0} \right), \quad (10)$$

где b^* - ширина очага деформации, м; l - протяженность очага деформации, м; h_{cp} - средняя высота полосы при прокатке, м; $\Delta h = h - h_0$ - абсолютное обжатие полосы, м; h_0 - высота полосы до прокатки, м; h - высота полосы после прокатки, м.

Работа сил контактного трения для процесса обратного выдавливания определяется по зависимости [1, 10, 14, 17]

$$A_T = 2 \cdot f \cdot k \int_0^{0,5d} \left(\frac{d}{2} - \sqrt{z} \cdot B \cdot \cos(B) \right) \cdot d\rho. \quad (11)$$

Работа сил контактного трения для процесса волочения определяется по зависимости [5, 10, 11, 14]

$$A_T = 2\pi f k R \int_0^d \left[\cos \left(\arcsin \left(\frac{z}{R} \right) \right) - \cos \alpha \right] \sqrt{1 + \frac{z^2}{\left(R^2 - \frac{z^2}{R^2} \right) x}} \cdot \left(z \cos \alpha - d_0 \cos \left(\arcsin \left(\frac{z}{R} \right) \right) \right) dz, \quad (12)$$

где f - коэффициент контактного трения.

Работа сил контактного трения для процесса прокатки определяется по зависимости [3, 6, 9, 18]

$$A_T = 2 \cdot b \cdot f \cdot k \int_{l_n}^{l_n} \left[\cos \left(\arcsin \left(\frac{x}{R} \right) \right) \cdot u_x^{om} + \frac{x}{R} \cdot u_z^{om} \right] dx - \int_0^{l_n} \left[\cos \left(\arcsin \left(\frac{x}{R} \right) \right) \cdot u_x^{on} + \frac{x}{R} \cdot u_z^{on} \right] dx, \quad (13)$$

где x - координата, определяющая положение точки на дуге контакта, м; $u_x^{om}, u_z^{om}, u_x^{on}, u_z^{on}$ - величины перемещений точек по контактной поверхности вдоль осей координат при прокатке для зоны отставания и опережения соответственно, м; l_n - протяженность зоны опережения, м.

Была изучена степень влияния технологических параметров процесса, таких как скорость деформирования v_n , геометрия очага деформации R , степень деформации ϵ и начальная температура в зоне деформации T_0 , на длительность активации контактной поверхности основы t_a , длительность релаксации остаточных напряжений в покрытии t_p с применением методики графической интерпретации. Диапазоны изменения параметров выбирались на основе технологических рекомендаций для каждого из процессов плакирования прокаткой, волочением и обратным выдавливанием.

Третья глава содержит описание экспериментальных установок для получения образцов, приборов и аппаратуры для экспериментальных исследований, материалов и методики экспериментальных исследований.

Исследование процесса обратного выдавливания проводилось на гидравлической испытательной машине с максимальным усилием 500 кН, процесса волочения - на волочильном стане однократного волочения, процесса прокатки - на двухвалковом прокатном стане.

Для измерения усилия прокатки при формировании покрытия на полосе использовали месдозы сжатия с наклеенными датчиками с электросопротивлением 100 Ом и базой 10 мм. Упругий элемент изготавливали из стали 15Х с термообработкой. Измерение сопротивления датчиков под нагрузкой и разба-

ланс моста усиливали тензометрическим усилителем ТО ПАЗ 3-02 и записывали на ленте быстродействующего самопишущего прибора НЗ27-3 с последующей расшивкой полученных данных.

Для исследований в качестве основы выбирали такие материалы как полосовую сталь 08кп и сталь 20 в виде цилиндрических заготовок, а также медь М4 и сталь 5 в виде проволоки. В качестве материалов покрытий применяли стабилизированный медный порошок ПМС-1, никелевый порошок ПШ-1, оловянный порошок П02, цинковый мелкозернистый порошок ПЦ1, порошок никрома марки Х30, алюминиевый порошок высокой чистоты марки ПА-ВЧ-1 и бронзовый несферический порошок БРОФ-10-1. В качестве антифрикционного материала применяли шихту, в состав которой входили порошки: 70 % порошка железа ПЖРВЗ, 8 % меди ПМС-Н, 6 % ПТФ ПМ4, до 6 % никеля ПНЭ-1.

Прочность сцепления покрытия с полосой определяли по методике изгиба образца полосы с покрытием до появления первой трещины и отслоения покрытия. Качество получаемых плакированных соединений исследовалось методом внешнего осмотра, электронно-зондовым микроанализом на электронных микроскопах Stereo-Scan-200, Stereo-Scan-120 и металлографическом микроскопе МЕТАМ Р1, а также экспериментально-вычислительном комплексе «Нанотоп», базирующемся на методе атомно-силовой микроскопии.

Для экспериментального исследования распределения деформации применялся метод координатной сетки. Для измерения температуры использовались три хромель-копелевые термодпары, присоединенные к регистрирующей величину температуры аппаратуре, погрешность измерения которой $+0,5^\circ\text{C}$.

В четвертой главе представлено экспериментальное исследование интенсивности сдвиговой деформации, средней объемной температуры в зоне деформации, релаксации остаточных напряжений в покрытии и активации контактной поверхности основы, а также экспериментальное исследование процессов совместной пластической деформации порошка и основы в технологиях плакирования металлов с целью получения качественных соединений.

Экспериментальное определение интенсивности сдвиговой деформации проводилось на стадии совместной пластической деформации порошка и основы для процесса плакирования обратным выдавливанием [8]. На внутреннюю полость алюминиевого образца наносилось порошковое оловянное покрытие, практически служащее внутренним припойным слоем в изделии. Исходные размеры цилиндрической алюминиевой заготовки: диаметр 40 мм, высота 40 мм, максимальная величина хода пуансона 30 мм, диаметр пуансона 20 мм. Толщина плакирующего оловянного слоя 0,1 мм.

На рис. 1 а представлена половина образца из алюминия, на плоскость разреза которой была нанесена координатная сетка с размером ячеек $a = 2,5\text{ мм}$, $b = 2,5\text{ мм}$. После деформации обратным выдавливанием образец имел вид, представленный на рисунке 1б.

Были проведен теоретический расчет интенсивности сдвиговой деформации в указанной зоне по формуле (5). Погрешность расчета в сравнении с экспериментальными данными составила 3,1%, что подтверждает обоснованность использования формулы (5) для расчета интенсивности сдвиговой деформации.



а) до деформации; б) после деформации.

Рис. 1 Алюминиевый образец с координатной сеткой

Для проверки полученных аналитических зависимостей средней объемной температуры в зоне деформации проведено экспериментальное изучение величины температуры в зоне деформации на процессе плакирования порошковым оловянным слоем внутренней цилиндрической полости алюминиевого цилиндра [2]. Интенсивность роста температуры на инструменте при плакировании в зависимости от перемещения определялась как $I = \Delta T / \Delta t$. Результаты теоретического расчета и эксперимента представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты расчета интенсивности роста температуры			
Значение интенсивности роста T на инструменте	$v_{n1} = 0,18 \text{ мм/с}$	$v_{n2} = 0,33 \text{ мм/с}$	$v_{n3} = 2,2 \text{ мм/с}$
экспериментальное	$0,9133 \cdot 10^4$	$0,9233 \cdot 10^4$	$0,9733 \cdot 10^4$
теоретическое	$0,9756 \cdot 10^4$	$0,9803 \cdot 10^4$	$1,039 \cdot 10^4$

Сравнительный анализ значений $I_{(v_m)}^{\Delta}$ и $I_{(v_m)}^T$ показал, что погрешность расчета составила около 6%, что подтверждает обоснованность использования формулы (7) для определения температуры в зоне деформации.

Экспериментальные исследования активации контактной поверхности основы проводились на экспериментальной установке для плакирования металлических полос порошковыми металлическими покрытиями.

На экспериментальной установке выполнялся процесс нанесения на стальную полосу толщиной 3 мм стали 10 алюминиевого покрытия толщиной 0,2 мм из алюминиевого порошка совместной деформацией прокаткой полосы и порошка. Режимы прокатки устанавливались такими, чтобы выполнялось условие активации контактной стальной поверхности, но релаксация напряжений в покрытии была бы недостаточной и вызывала отслоение сформированного покрытия от поверхности основы.

Из полосы вырезались образцы, поверхность которых исследовалась с помощью атомно-силовой микроскопии. В результате были получены изображения на рисунке 2 и рисунке 3. На рисунке 2 представлена микроструктура участка поверхности стали после отслоения от нее алюминиевого покрытия. На рисунке 3 представлено изображение фазового состава исследуемого участка

поверхности, на котором белый цвет соответствует алюминию, а черный – стали.



Рис. 2 Микротопография поверхности стали 10 (3x3 мкм)



Рис. 3 Фазовое изображение поверхности стали 10 (3x3 мкм)

Отношение ориентировочной экспериментальной величины $4,5 \text{ мкм}^2$ площади активных центров со следами металла покрытия на исследуемом участке к расчетному значению площади активных центров 7 мкм^2 равно $\frac{2}{3}$. В этой связи можно сделать заключение, что, ориентировочно, $\frac{2}{3}$ площади активных центров взаимодействует с металлом покрытия вследствие неплотного контакта.

Экспериментально на наноуровне подтверждено, что активация поверхности металлической основы при ее плакировании металлическим покрытием осуществляется в активных центрах, находящихся в местах выхода дислокаций к поверхности основы, где образуются локальные зоны соединения поверхности основы с покрытием; подтверждена практическая возможность использования формулы (2) для определения длительности активации поверхности.

Для исследования релаксационных процессов при плакировании прокаткой проводили совместную пластическую деформацию полосы из стали 08кп и медного порошка при температуре $T = 20^\circ\text{C}$. В процессе деформации останавливали процесс прокатки с регистрацией падения усилия прокатки в течение некоторого промежутка времени. Во время остановки, по степени падения усилия определялась релаксация напряжений в поюзытии.

Энергии U для меди при заданной температуре по формуле (3) были определены граничные значения продолжительности релаксации t_p и t_r .

Экспериментальные значения $5 \cdot 10^4 \dots 1,8 \cdot 10^6 \text{ с}$ находятся в теоретическом интервале между $t_p^{\min} = 88,551 \text{ с}$ и $t_p^{\max} = 29,96 \cdot 10^6 \text{ с}$, что подтверждает обоснованность использования формулы (3).

Для экспериментальных исследований в технологиях плакирования наличие схватывания исследовалось методом внешнего осмотра и металлографическим методом.

Экспериментальные исследования для процесса обратного выдавливания с помощью специально разработанного и изготовленного устройства [1]. В качестве основы использовалась сталь 20 в отожженном состоянии в виде цилиндрических заготовок диаметром 8 мм и высотой 10 мм. В качестве порошков, применяемых для формирования плакирующих покрытий, использовались порошки меди, никеля, цинка, сплава железа с хромом, алюминия, олова и бронзовый порошок. Результаты расчета и эксперимента представлены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты расчета и эксперимента при плакировании обратным выдавливанием

№ опы-та	Покрытие	ε %	R мм	v_n мм/с	T_0 К	Расчетное условие образования соединения			Экспериментальный результат
						t_0	t_a	t_p	
1	Cu	12	20	2,2	293	$1,284 \geq 7,39 \cdot 10^{-3} \leq 82,075$			-
2	Sn					$1,284 \geq 7,39 \cdot 10^{-3} \geq 2,412 \cdot 10^{-3}$			+
3	Al					$1,284 \geq 7,39 \cdot 10^{-3} \leq 9,78 \cdot 10^6$			-
4	Ni					$1,284 \geq 7,39 \cdot 10^{-3} \leq 3,012 \cdot 10^{23}$			-
5	Cr					$1,284 \geq 7,39 \cdot 10^{-3} \leq 2,454 \cdot 1041$			-
6	Cu	12	20	2,2	573	$1,284 \geq 6,673 \cdot 10^{-5} \geq 2,887 \cdot 10^{-5}$			+
7	Sn					$1,284 \geq 6,673 \cdot 10^{-5} \geq 4,6 \cdot 10^{-7}$			+
8	Al					$1,284 \geq 6,673 \cdot 10^{-5} \geq 5,6 \cdot 10^{-5}$			+
9	Ni					$1,284 \geq 6,673 \cdot 10^{-5} \leq 65,674$			-
10	Cr					$1,284 \geq 6,673 \cdot 10^{-5} \leq 1,312 \cdot 10^9$			-
11	Cu	12	20	4,0	293	$0,706 \geq 5,48 \cdot 10^{-3} \leq 82,075$			-
12	Sn					$0,706 \geq 5,48 \cdot 10^{-3} \geq 2,412 \cdot 10^{-3}$			-
13	Al					$0,706 \geq 5,48 \cdot 10^{-3} \leq 9,78 \cdot 10^6$			-
14	Ni					$0,706 \geq 5,48 \cdot 10^{-3} \leq 2,312 \cdot 10^{23}$			-
15	Cr					$0,706 \geq 5,48 \cdot 10^{-3} \leq 1,36 \cdot 10^{41}$			-
11	Cu	12	20	4,0	573	$0,706 \geq 4,949 \cdot 10^{-5} \geq 2,956 \cdot 10^{-5}$			+
12	Sn					$0,706 \geq 4,949 \cdot 10^{-5} \geq 4,604 \cdot 10^{-7}$			+
13	Al					$0,706 \geq 4,949 \cdot 10^{-5} \leq 5,549 \cdot 10^{-5}$			-
14	Ni					$0,706 \geq 4,949 \cdot 10^{-5} \leq 62,865$			-
15	Cr					$0,706 \geq 4,949 \cdot 10^{-5} \leq 1,19 \cdot 10^9$			-

Примечание: знак «+» - наличие соединения, знак «-» - отсутствие соединения.

Для экспериментального исследования процесса волочения [5] в качестве основы использовались медная и стальная проволоки. В качестве порошков, применяемых для формирования плакирующего покрытия, использовались порошки олова и цинка. Результаты расчета и эксперимента представлены в таблице 3.

Таблица 3

Результаты расчета и эксперимента при плакировании волочением

№ опы-та	Покрытие	ε %	R мм	v_n мм/с	T_0 К	Расчетное условие образования соединения			Экспериментальный результат
						t_0	t_a	t_p	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Sn	12	10	0,2	293	$11,188 \geq 0,038 \leq 2,766 \cdot 10^4$			-

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	Zn	12	10	0,2	293	$11,188 \geq 0,038 \leq 5,563 \cdot 10^4$		-	
3	Sn	12	10	1,0	293	$2,238 \geq 0,017 \leq 2,766 \cdot 10^3$		-	
4	Zn					$2,238 \geq 0,017 \leq 5,563 \cdot 10^4$		-	
5	Sn	12	10	0,2	643	$11,188 \geq 1,997 \cdot 10^{-4} \geq 3,106 \cdot 10^{-6}$		+	
6	Zn					$11,188 \geq 1,997 \cdot 10^{-4} \geq 1,267 \cdot 10^{-3}$		+	
7	Sn	12	10	0,2	653	$11,188 \geq 1,867 \cdot 10^{-4} \geq 2,385 \cdot 10^{-6}$		+	
8	Zn					$11,188 \geq 1,867 \cdot 10^{-4} \geq 9,524 \cdot 10^{-6}$		+	

Эксперименты по плакированию прокаткой проводили на специально сконструированной и изготовленной установке [4, 6, 15, 18]. В качестве основы использовалась полоса стали 0,8к1 с размером сечения 35 x 0,5 мм. В качестве покрытия - металлический порошок на основе железа. Наличие схватывания проверяли методом перегиба полосы на угол α до отслоения покрытия от основы. Достаточным условием обеспечения работоспособности покрытия является сохранение его соединения с основой при достижении значения $\alpha = 180^\circ$. В результате исследований с помощью метода рототабельного планирования была построена поверхность отклика с ее сечениями, линии которых соответствуют значениям α (рис. 4) [4]. На данной схеме изображены результаты расчета условия образования соединения, наложенные на ранее полученные сечения поверхности отклика [6].

Расчетные значения условия схватывания в некоторых точках сечений поверхности отклика представлены в таблице 4.

Из рисунка 4 и таблицы 4 видно, что в диапазоне оптимальных параметров процесса, условие схватывания преимущественно выполняется, что указывает на взаимосвязь аналитических зависимостей с экспериментальными исследованиями качества соединения.

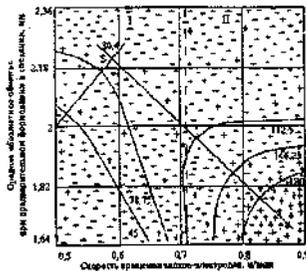


Рис. 4 Сечения поверхности отклика

Полученные образцы изучались также металлографическим способом, который позволял оценить наличие или отсутствие соединения металлического покрытия с основой [6, 18].

Таблица 4

Расчетные и экспериментальные значения условия образования соединения при плакировании прокаткой

№ опыта	Покрытие	ϵ мм	R мм	ν_n м/мин	T_D К	Расчетное условие образования соединения			Экспериментальный результат
						t_D	t_a	t_p	
1	Fe	1,68	50	0,75	1500	$0,733 \geq 1,488 \cdot 10^{-6} \geq 1,291 \cdot 10^{-6}$			+
2	Fe	1,75	50	0,82	1500	$0,684 \geq 1,397 \cdot 10^{-6} \geq 1,291 \cdot 10^{-6}$			+
3	Fe	1,8	50	0,88	1500	$0,647 \geq 1,323 \cdot 10^{-6} \geq 1,291 \cdot 10^{-6}$			+
4	Fe	1,84	50	0,65	1500	$0,885 \geq 4,509 \cdot 10^{-7} \leq 1,291 \cdot 10^{-6}$			-
5	Fe	2,1	50	0,88	1500	$0,699 \geq 6,965 \cdot 10^{-7} \leq 1,291 \cdot 10^{-6}$			-

Таким образом, проведенные экспериментальные исследования подтвердили возможность практического использования полученных аналитических зависимостей, входящих в условие схватывания.

В результате выполненных экспериментальных исследований разработан новый технологический процесс плакирования прокаткой стальной полосы порошковым композиционным покрытием, реализованный в условиях лаборатории кафедры «Обработка материалов давлением».

Результаты работы были использованы при изготовлении антифрикционных композиционных колец для насосов перекачки молока НМУ-6.

Кольцо изготовлено методом листовой вырубки из полосового композиционного материала, имеющего стальной несущий слой и рабочий износостойкий антифрикционный порошковый слой. Изготовление композиционной полосы осуществлялось методом плакирования прокаткой по технологии описанной выше. Конкурентоспособность колец производства ГГТУ имени П.О. Сухого была достигнута за счет более низкой цены по сравнению с аналогичными образцами импортного производства. Экономический эффект от высвобождения оборотных средств за период с 1999 по 2004 год составил 7200 долларов США по курсу НБ Республики Беларусь.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведенные в данной работе исследования позволили установить, что условием схватывания между слоями является превышение продолжительности совместной деформации порошка и основы над продолжительностью активации контактной поверхности основы, которая должна быть больше продолжительности релаксации остаточных напряжений в порошковом покрытии [1, 3, 5-9, 11,12, 15,16,18].

2. Полученное условие схватывания может использоваться для температур деформации выше и ниже температуры рекристаллизации и выражено через технологические режимы деформации и свойства соединяемых материалов [1,3, 5-9,11,12,15,16,18].

3. Определено, что для характеристики свойств материала основы необходимо использовать энергию одиночных перегибов дислокаций металла, а для характеристики свойств материала порошкового покрытия необходимо использовать энергию активации, контролирующей релаксацию остаточных напряжений в покрытии. Установлено, что при увеличении параметра энергии одиночных перегибов дислокации в 2,3 раза величина длительности активации контактной поверхности основы возрастает в 1500 раз; при увеличении параметра энергии активации, контролирующей процесс релаксации в 5,8 раза величина длительности релаксации остаточных напряжений в покрытии возрастает от 2-ю² до 5Ю"раза при различных процессах плакирования для алюминия, цинка, меди, железа, никеля и хрома [1, 3, 5-9, 11,12,15, 16,18].

4. Определено, что для величины продолжительности активации контактной поверхности основы при совместной пластической деформации основы и порошка в технологиях плакирования прокаткой, волочением и обратным выдавливанием значимыми параметрами являются скорость процесса деформирования и температура в зоне деформации, зависящая от энергии пластической деформации и начальной температуры [1, 3, 5, 6-9, 11, 12, 15, 16].

5. Для величины длительности релаксации остаточных напряжений в покрытии при совместной пластической деформации основы и порошка в технологиях плакирования прокаткой, волочением и обратным выдавливанием значимым параметром является температура в зоне деформации, с увеличением которой от 1,6 до 2,7 раза значения длительности релаксации остаточных напряжений в покрытии уменьшаются от 7,5-10³ до 1-Ю³ раз для разных пар металлов [1, 3, 5,6-9,11,12,15,16].³

6. Экспериментально исследовано образование соединения между основой и покрытием в процессах плакирования прокаткой, волочением, обратным выдавливанием и доказана практическая возможность использования теоретического условия схватывания для этих процессов.

В качестве практических рекомендаций предлагается, с учетом свойств используемых материалов, обеспечивать условие схватывания изменением технологических параметров: скорости процесса деформирования, начальной температуры нагрева, степени деформации и геометрического параметра очага деформации.

Разработана и освоена технология плакирования стальной полосы 08кп порошковым композиционным покрытием с обеспечивающими схватывание режимами плакирования: скорость деформирования прокаткой 0,8 м/мин; абсолютное обжатие полосы с покрытием 0,20 мм; температура в зоне деформации 1500К. Освоено производство колец для насосов перекачки молока ОАО «Гомельагрокомплект», основанное на штамповке изделия из плакированной стальной полосы антифрикционным покрытием. Данная технология позволила исключить импорт аналогичного изделия из-за рубежа.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ Статьи в научных журналах

1. Селивончик Н.В. (Иноземцева Н.В.), Бобарикин Ю.Л. Разработка критерия получения соединения покрытия с основой при плакировании обратным выдавливанием // *Материалы, технологии, инструменты.*-2002. т.7- №3.- с.33-37.

2. Бобарикин Ю.Л., Селивончик Н.В. (Иноземцева Н.В.), Швецов А.Н. Аналитическое определение времени активации контактных поверхностей при плакировании // *Кузнечно-штамповочное производство.* - 2002,- №11.- с.13-16.

3. Селивончик Н.В. (Иноземцева Н.В.), Бобарикин Ю.Л. Анализ условия достижения адгезии между слоями биметалла при плакировании прокаткой // *Вестник Гомельского государственного технического университета имени П.О.Сухого.*-2003.-№1.-с.29-38.

4. Бобарикин Ю.Л., Швецов А.Н., Селивончик Н.В. (Иноземцева Н.В.), Шишков С.В. Технология нанесения порошковых покрытий на стальную полосу // *Кузнечно-штамповочное производство.* - 2003.- №6.- с.30-33.

5. Иноземцева Н.В., Бобарикин Ю.Л., Валицкая О.М. Анализ условия соединения покрытия с основой при плакировании волочением // *Материалы, технологии, инструменты.*-2004. т.9- №1.- с.30-35.

6. Бобарикин Ю.Л., Иноземцева Н.В., Швецов А.Н. Исследование условия сцепления между металлическими слоями, соединяемыми процессом прокатки // *Материалы, технологии, инструменты.*-2005. т. 10- №3.- с.34-36.

7. Бобарикин Ю.Л., Иноземцева Н.В. Технологическое условие образования соединения между металлической основой и порошковым покрытием на стадии их совместной пластической деформации в технологиях плакирования // *Вестник Гомельского государственного технического университета имени П.О.Сухого.*-2006.-№3.-с.15-21.

8. Бобарикин Ю.Л., Буренков В.Ф., Иноземцева Н.В. определение интенсивности сдвиговой деформации и температуры в очаге деформации при плакировании обратным выдавливанием прокатки // *Материалы, технологии, инструменты.*-2006. т. 11- №2,- с.39-43.

9. Бобарикин Ю.Л., Селивончик Н.В. (Иноземцева Н.В.), Шишков С.В., Урбанович А.М. Критерий получения качественного соединения слоев прокатываемого биметалла // *Республиканский межведомственный сборник научных трудов «Металлургия».*- 2002.-№26.-с.154-163.

**Публикации в сборниках научных трудов
и материалах конференций**

10. Бобарикин Ю.Л., Иноземцева Н.В. Анализ условия адгезии между слоями при плакировании металлов порошковыми покрытиями // Сборник научных трудов. Прогрессивные технологии и оборудование кузнечно-штамповочного производства. Под общ.ред. Н.Ф.Шпунькина, С.А.Типалина.- М.: МГТУ «МАМИ», 2003.- с.287-292.
11. Иноземцева Н.В. Теоретический анализ условия адгезии между слоями металла и порошкового металлосодержащего покрытия при плакировании волочением // Сборник научных трудов. Прогрессивные технологии и оборудование кузнечно-штамповочного производства. Под общ.ред. Н.Ф.Шпунькина, С.А.Типалина.- М.: МГТУ «МАМИ», 2003.- с.293-299.
12. Селивончик Н.В. (Иноземцева Н.В.), Бобарикин Ю.Л., Базилеева Н.И., Буренков В.Ф. Анализ тепловыделения от пластической деформации в зоне соединения при плакировании // Материалы международной НТК «Современные проблемы машиноведения».-Гомель: ГГТУ, 2000.-С.89-91.
13. Бобарикин Ю.Л., Селивончик Н.В. (Иноземцева Н.В.), Швецов А.Н., Шишков С.В. Получение металлических изделий, плакированных порошковыми покрытиями // Сборник докладов первой международной НПК «ТРАНСТЕХ-2002».- Гомель: Ротон, 2002.- ч.2.-с.115-119.
14. Иноземцева Н.В., Бобарикин Ю.Л. Условие образования соединения между металлической основой и порошковым покрытием при плакировании // Материалы международной НТК «Прогрессивные технологии обработки материалов давлением». Под общ. ред. А.В.Степаненко.- Мн.: «Технопринт», 2004.-с. 262-269.

Тезисы докладов

15. Бобарикин Ю.Л., Селивончик Н.В. (Иноземцева Н.В.), Швецов А.Н. Аналитическое определение контактных напряжений и тепловыделения при нанесении порошковых покрытий прокаткой // Тематический сборник «Современные материалы, оборудование и технологии упрочнения и восстановления деталей машин».- Новополоцк: Полоцкий государственный университет, 1999.- с.197-198.
16. Бобарикин Ю.Л., Селивончик Н.В. (Иноземцева Н.В.), Швецов А.Н. Технология плакирования металлической полосы антифрикционным порошковым покрытием и исследование его структуры // Материалы международной НТК «Новые конкурентоспособные и прогрессивные технологии, машины и механизмы в условиях современного рынка».- Могилев: ММИ, 2000.-с. 116.
17. Бобарикин Ю.Л., Селивончик Н.В. (Иноземцева Н.В.) Анализ условия качественного соединения при плакировании обратным выдавливанием // Тезисы докладов молодежной НТК вузов приграничных регионов славянских государств. - Брянск: БГТУ, 2001.-С.89-90, ;

18. Селивончик Н.В. (Иноземцева Н.В.), Бобарикин Ю.Л. Анализ условия достижения адгезии между слоями при плакировании прокаткой // Тезисы докладов международной НТК «Современные проблемы машиноведения».- Гомель: ГГТУ, 2002.-С.38-39.
19. Бобарикин Ю.Л., Швецов А.Н., Шишков С.В., Селивончик Н.В. (Иноземцева Н.В.) Технологические аспекты получения перспективных металлофторопластовых материалов для подшипников скольжения // Тезисы докладов белорусско - польского семинара инновационных разработок. - Брест. - 2002.-С.20-21.
20. Иноземцева Н.В., Бобарикин Ю.Л. Разработка и исследование условия адгезии при плакировании // Тезисы докладов международной НТК «Современные проблемы машиноведения».-Гомель: ГГТУ, 2004.-С.78-79.

РЕЗЮМЕ

Іноземцева Наталія Уладзіміраўна

УМОВЫ І ТЭХНАЛАГІЧНЫЯ РЕЖЫМЫ СХВАТВАННЯ
ПАРАШКОВЫХ ПАКРЫЦЦЯЎ З МАТЭРЫАЛАМ АСНОВЫ ПРЫ ІХ
СУМЕСНАЙ ПЛАСТЫЧНАЙ ДЭФАРМАЦЫІ

Ключавыя словы: Плакіраванне, умовы схватвання, актывацыя, рэлаксацыя

У дысертацыі выканан аналіз умовы схватвання паміж металічнай асновай і парашковым пакрыццём, якое наносіцца метадамі плакіравання.

Атрыманая на аснове энергетычнага аналізу ўмова выражана праз тэхналагічныя параметры працэсу плакіравання і ўласцівасці выкарыстаных матэрыялаў.

Метад даследавання быў заснаваны на атрыманні аналітычнага выражэння для гэтай умовы і на яго эксперыментальнай праверцы на працэсах сумеснай пластычнай дэфармацыі парашка і асновы ў тэхналогіях плакіравання пракаткай, валачэннем і зваротным націсканнем.

Навуковае значэнне работы заключаецца ў атрыманні новай аналітычнай залежнасці для умовы схватвання ў працэсах, якія даследаваюцца і ўлічваюць тэхналагічныя параметры працэсаў.

Практычнае значэнне работы заключаецца ў атрыманых практычных рэкамендацыях, якія дазваляюць прагназіраваць якасць злучэння слаёў без эксперыментаў.

Вынікі работы могуць ўлічвацца пры распрацоўцы новых тэхналогій у галіне плакіравання.

РЕЗЮМЕ

Иноземцева Наталья Владимировна

УСЛОВИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ СХВАТЫВАНИЯ
ПОРОШКОВЫХ ПОКРЫТИЙ С МАТЕРИАЛОМ ОСНОВЫ
ПРИ ИХ СОВМЕСТНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

Ключевые слова : Плакирование, условие схватывания, активация, релаксация

В диссертации выполнен анализ условия схватывания между металлической основой и порошковым покрытием, наносимым методами плакирования.

Полученное на основе энергетического анализа условие выражено через основные технологические параметры процесса деформации и свойства используемых материалов.

Метод исследований был основан на получении аналитического выражения для этого условия и на его экспериментальной проверке на процессах совместной пластической деформации порошка и основы в технологиях плакирования прокаткой, волочением и обратным выдавливанием. *

Научное значение работы заключается в получении новой аналитической зависимости для условия схватывания в исследуемых процессах, учитывающего технологические параметры процесса.

Практическое значение работы заключается в получении рекомендаций, позволяющих прогнозировать качество соединения слоев без предварительных экспериментов.

Результаты работы могут применяться при разработке новых технологий в области плакирования.

Summary

Inozemtseva Natalia Vladimirovna

CONDITION AND TECHNOLOGICAL MODES FOR GRIPPING OF POWDER FACING WITH THE BASE MATERIAL AT THEIR COMBINED PLASTIC DEFORMATION

Keywords: Cladding, condition of gripping, activation, relaxation

In doctoral thesis the analysis of the condition of gripping between metal base and powder facing applied by cladding methods has been performed.

Condition obtained in terms of the energy analysis is expressed via basic technological parameters of deformation process and the characteristics of used materials.

The investigation method has been based on the analytical expression production for this condition and on the experimental control on processes of combined plastic deformation of powder facing and base in cladding technology by the rolling, dragging and the reverse pressing.

Scientific importance of this thesis consists in the obtaining of the new analytical dependence for the condition of gripping in the investigated processes, which takes into consideration the technological parameters of process.

The practical importance of thesis consist in the obtained recommendations allowing to predict the quality of layers bonding without pilot experiment.

The results of thesis can be used for the designing of the new technologies in the cladding.

Научное издание

ИНОЗЕМЦЕВА Наталья Владимировна

УСЛОВИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ СХВАТЫВАНИЯ ПОРОШКОВЫХ ПОКРЫТИЙ С МАТЕРИАЛОМ ОСНОВЫ ПРИ ИХ СОВМЕСТНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

Специальность 05.03.05 - Технологии и машины обработки давлением

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени кандидата технических наук

Технический редактор М.И. Гриневич

Подписано в печать 20.03.2007.

Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.

Отпечатано на ризографе. Гарнитура Тайме

Усл.печ.л. 1,3. Уч.-изд.л. 1,0. Тираж 60. Заказ 229.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Белорусский национальный технический университет.

ЛИ № 02330/0131627 от 01.04.2004.

220013, Минск, проспект Независимости, 65.

Лист изменений в текст автореферата Иноземцевой Натальи Владимировны
 «Условие и технологические режимы схватывания порошковых покрытий с
 материалом основы при их совместной пластической деформации»

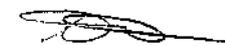
№ п/п	Написано	Следует читать
1.	Стр.8, формула (9) $A_n = \frac{\pi}{3} \cdot h_0 \left(\frac{3}{2}d - h_0 \right) \cdot k \cdot \ln \left(1 - \frac{d^2}{d_0^2} \right) \cdot \sqrt{3}$	Стр.8, формула (9) $A_n = \frac{\pi}{3} \cdot h_0 \left(\frac{3}{2}d - h_0 \right)^2 \cdot k \cdot \ln \left(1 - \frac{d^2}{d_0^2} \right) \cdot \sqrt{3}$
2.	Стр.9, формула (11) $A_T = 2 \cdot f \cdot k \int_0^{0,5d} \left(\frac{d}{2} \sqrt{2} \cdot B \cdot \cos(B) \right) \rho d\rho$	Стр.9, формула (11) $A_T = 2 \cdot f \cdot k \int_0^{0,5d} \left(\frac{d}{2} \sqrt{2} \cdot B \cdot \cos(B) \right) \rho d\rho$
3.	Стр.10, 12 строка сверху ...6% ПТФ ПМ4	Стр.10, 12 строка сверху ...6% ПТФ – 4 марки «ПМ»
4.	Стр.12, 14 строка снизу ...граничные значения продолжительности релаксации t_p ; и.	Стр.12, 14 строка снизу ...граничные значения продолжительности релаксации t_p .
5.	Стр.12, 15 строка снизу энергии U	Стр.12, 15 строка снизу Для имеющихся значений энергии U
6.	Стр.16, 9 строка сверху ...релаксации остаточных напряжений в покрытии возрастает от $2 \cdot 10^{29}$	Стр.16, 9 строка сверху ...релаксации остаточных напряжений в покрытии возрастает от 10^{-4}
7.	Стр.16, 10 строка сверху $5 \cdot 10^{59}$ раза для алюминия, цинка, меди, железа, никеля и хрома.	Стр.16, 10 строка сверху 10^4 секунд для алюминия, цинка, меди, железа.
8.	Стр.16, 23 строка сверху ...уменьшаются от $7,5 \cdot 10^3$ до $1 \cdot 10^{37}$ раза для разных пар металлов.	Стр.16, 23 строка сверху ...уменьшаются от $8 \cdot 10^7$ до 10^{-4} секунд для алюминия олова, меди и цинка.

Соискатель



Н.В. Иноземцева

Ученый секретарь
 Совета Д 02.05.03



О.Г. Девойно