

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ УПРОЧНЕНИЯ РЕЖУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ МАШИН ЭЛЕКТРОКОНТАКТНЫМ ПРИПЕКАНИЕМ ПОРОШКОВ

Ярошевич В.К., д.т.н., профессор

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Технологический процесс получения покрытий припеканием заключается в нанесении на поверхность детали порошковой формовки или слоя порошка и последующем нагреве их до температуры, обеспечивающей спекание порошкового материала и образование прочной диффузионной связи его с деталью [1].

Нагрев металлического порошка, засыпаемого между деталью и электродом, при электроконтактном припекании осуществляется за счет тепловой энергии, выделяемой электрическим током на активном сопротивлении [2]. Процесс припекания обеспечивается совместным действием на порошковый слой высокой температуры (0,9-0,95 от температуры плавления порошка) и давления (до 100 МПа).

При упрочнении плоских поверхностей деталей основной технологической схемой является прокатка порошкового слоя роликовым электродом (рисунок 1).

Электроконтактное припекание металлических порошков относится к числу процессов, основную роль в которых играют силовые и температурные факторы активирования [3]. Интенсивное силовое воздействие и высокая скорость нагрева порошкового слоя позволяют отказаться от химических активаторов процесса и снизить время для осуществления процесса приблизительно на два порядка.

Рассмотрим некоторые пути повышения качества порошковых покрытий, полученных электроконтактным припеканием, при их нанесении на режущие элементы различных машин (сельскохозяйственных, дорожных и др.).

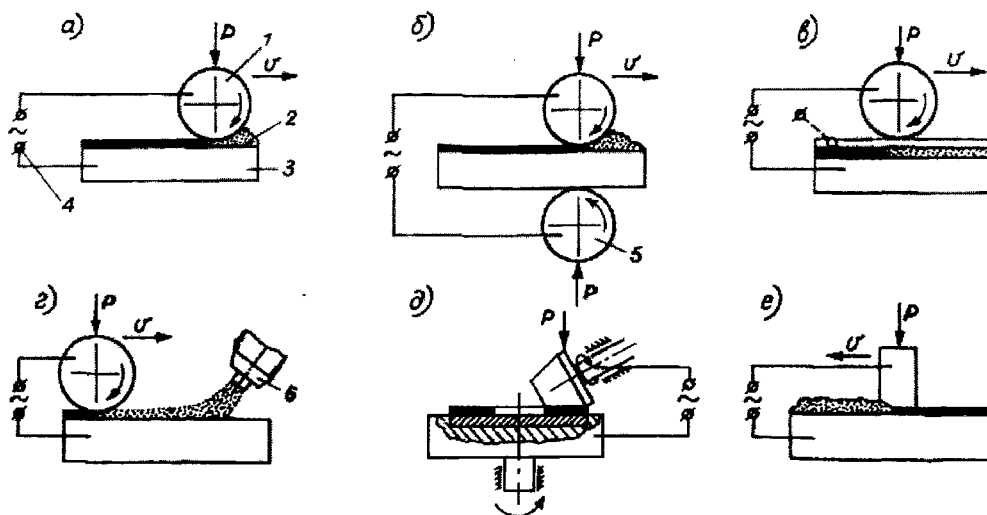


Рисунок 1 – Технологические схемы нанесения покрытий на плоские поверхности:  
 а – с использованием одного роликового электрода; б – с использованием двух электродов;  
 в – через технологическую пластину; г – с предварительным напылением слоя;  
 д – коническим роликом; е – с использованием электрода-пуансона. 1 – роликовый электрод; 2 – порошок; 3 – деталь; 4 – источник электрического тока; 5 – дополнительный электрод; 6 – установка для напыления

Формирование покрытия при электроконтактном припекании осуществляется при температуре ниже температуры плавления материала покрытия. Выбор температуры припекания осуществляется на основе анализа температурного поля в детали. Это особенно важно при упрочнении длинномерных плоских деталей (ножи грейдеров, бульдозеров, противорежущие брусья комбайнов), для которых неправильный выбор режима вызывает значительные температурные деформации и разброс физико-механических свойств покрытия по длине.

Теоретический анализ температурного поля при электроконтактном припекании показывает, что наибольшее влияние на распределение температуры оказывают скорость перемещения электрода и величина тока [3].

При небольшой скорости перед роликом происходит накопление тепла, что приводит к перегреву порошкового слоя и выдавливанию расплавленного металла из-под ролика. Это особенно заметно для покрытий большой длины: при нанесении покрытия длиной 600 мм перепад температур в начале и в конце процесса составляет около 150 К (рисунок 2).

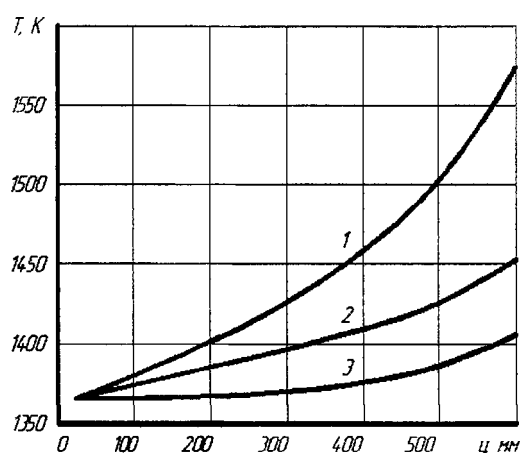


Рисунок 2 – Температура детали под роликом на различном расстоянии от начала припекания при скорости перемещения ролика: 1 – 1,7 мм/с; 2 – 6,7; 3 – 16,7 мм/с

В зависимости от длины упрочняемой детали выбирают скорость припекания, обеспечивающую поддержание температуры в заданном интервале ( $0,9-0,95 T_{пл}$ ). Максимальное же значение скорости  $W_{p\max}$  определяется особенностями уплотнения и формирования начального электрического сопротивления порошкового слоя (для порошков твердых сплавов с размером частиц не более 0,2 мм значение максимальной скорости находится в пределах 14-20 мм/с).

Если необходимо получить покрытие повышенной плотности при ограниченной мощности установки, целесообразно осуществлять его нанесение на пониженных скоростях, а температурный режим регулировать изменением тока припекания. Величина тока в этом случае должна изменяться по следующему закону:

$$\dot{I}(t) = \dot{I}_0 \left( 2 - \sqrt{\exp kt} \right), \quad (1)$$

где  $\dot{I}_0$  – начальное значение силы тока, А;  $t$  – время осуществления процесса, с;

$k$  – коэффициент, зависящий от размеров детали, скорости перемещения электрода, материала порошка (определяется экспериментально).

Неравномерность температурного режима влияет также на свойства покрытия по ширине (в плоскости, перпендикулярной направлению движения ролика). Здесь можно выделить три участка с разной плотностью (рисунок 3).

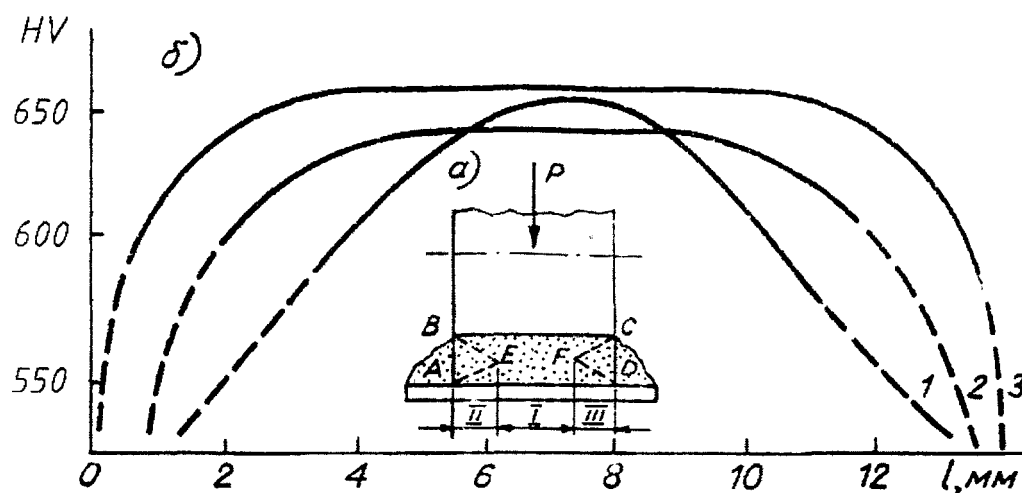


Рисунок 3 – Схема уплотнения (а) и распределение твердости (б) в поперечном сечении покрытия из ПГ-С1 при различных скоростях перемещения электрода: 1 – 0,05 м/с; 2 – 0,016; 3 – 0,009 м/с

Равномерная плотность порошка имеет место только на участке I, на II и III участках плотность остается низкой и в процессе нанесения покрытия изменяется мало. На центральном участке порошок обладает максимальной плотностью и минимальным электрическим сопротивлением, здесь происходит наибольшее выделение тепла, а твердость и прочность сцепления таких покрытий имеют максимальные значения. На участках II и III порошковый слой и деталь нагреваются за счет теплопередачи из центрального участка, твердость и прочность сцепления здесь ниже, в слое отмечается большое количество окисных пленок, что может вызвать при эксплуатации выкрашивание покрытия. Наибольшее влияние на размер зон нагрева оказывает скорость процесса (рисунок 3). С увеличением скорости припекания размер центрального участка уменьшается, а участков с неполным спеканием увеличивается.

При упрочнении режущих элементов различных машин кромка должна иметь наиболее высокие физико-механические свойства. Для деталей относительно небольшой ширины предлагается использовать способ, при котором две детали соединяются упрочняемыми поверхностями, образуя общую плоскую поверхность (рисунок 4, а). На линию стыка деталей насыпают слой порошка, равный двойной ширине упрочняемой режущей кромки, а в процессе нанесения покрытия середина роликового электрода перемещается по линии соприкосновения обеих деталей. После упрочнения детали разъединяют путем разрушения по линии соединения, а при небольшой толщине покрытия (1...1,5 мм) это происходит самопроизвольно после снятия зажимного усилия за счет остаточных напряжений в этой зоне. В результате на каждой из деталей остается упрочненный слой, имеющий наиболее высокие физико-механические свойства на режущей кромке.

Качество покрытия при нанесении его на одну деталь можно повысить за счет улучшения прогрева режущей кромки (рисунок 4, б).

К поверхности детали, образующей с упрочняемой режущую кромку, подводят второй электрод и располагают его в зоне, непосредственно прилегающей к упрочняемой поверхности. При пропускании электрического тока происходит интенсивный локальный нагрев режущей кромки. Указанный способ позволяет увеличить ширину и физико-механические свойства нанесенного покрытия.

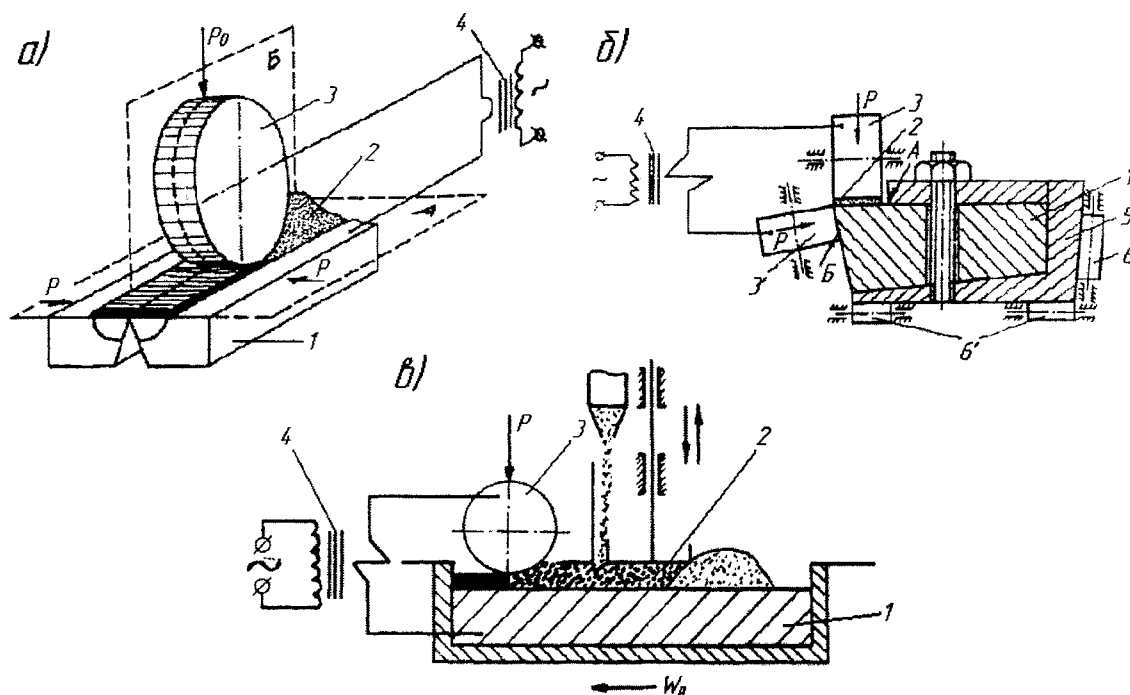


Рисунок 4 – Технологические схемы нанесения покрытия: а – одновременно на две детали; б – с интенсификацией нагрева режущей кромки; в – с предварительным формованием порошка: 1 – деталь; 2 – порошок; 3, 3' – основной и дополнительный электроды; 4 – трансформатор; 5 – рамка-кассета; 6, 6' – опорные ролики

Качество формования режущей кромки повышается также за счет дополнительного давления на крайние участки покрытия со стороны неэлектропроводных роликов. На одной оси с роликовым электродом с обеих сторон на упругих элементах установлены опорные ролики из неэлектропроводного материала или материала с большим электрическим сопротивлением. При пропускании электрического тока порошок уплотняется, и роликовый электрод опускается вниз, а опорные ролики остаются на своих местах. Компенсация в разнице перемещений происходит за счет упругих элементов, создающих дополнительное давление на крайние участки припекаемого слоя. Такое распределение давления повышает качество покрытия и стабильность его свойств по ширине.

Для повышения физико-механических свойств покрытий, полученных электроконтактным припеканием, целесообразно использовать способ с предварительным уплотнением порошка гармонически колеблющимся штампом. Суть способа состоит в следующем (рисунок 4, в).

Над краем открытой сверху горизонтальной формы, на дно которой помещено изделие, в вертикальной плоскости перемещается штамп, под который постоянно подсыпается порошок из бункера. После доведения порошка до текучего, предельно плотного состояния (т.е. возникновения эффекта текучего клина) форму перемещают в направлении роликового электрода и осуществляют процесс припекания. Уплотнение порошкового слоя перед припеканием стабилизирует его электрическое сопротивление, создает равномерную плотность по ширине, что позволяет снизить необходимое давление на роликовый электрод на 10...20 %, уменьшить выдавливание наносимого материала из-под ролика и в результате получить покрытие более высокого качества.

Физико-механические свойства покрытий повышаются также при двухстадийном формовании и нагреве припекаемого порошка [4]. На первой стадии к слою прикладывается удельное давление 0,05-0,15 МН/м, которое не вызывает деформации микровыступов

порошка и разрушения окисных пленок, а лишь частично уплотняет его. В момент включения электрического тока происходит мгновенный пробой окисной пленки, после чего металл застывает и образует металлическую перемычку. Под действием внешнего давления, действующего одновременно с электрическим током, образуется слой с большой пористостью (до 30 %) и низкой прочностью сцепления (не более 30 МПа). Вторая стадия технологического процесса характеризуется пропусканием электрического тока плотностью 0,25-0,5 кА/мм<sup>2</sup> и приложением удельного давления 0,55-0,65 МН/м. В результате получают высокоплотные покрытия (с пористостью не более 3-5 %), имеющие высокую прочность сцепления с основой (180-200 МПа) и небольшую зону термического влияния (0,01-0,5 мм), что приводит к снижению температурных напряжений в материале детали.

Таким образом, рассмотренные пути повышения качества покрытий на режущих элементах машин за счет стабилизации температуры слоя по длине, повышения однородности свойств покрытия по ширине, а также методы улучшения их физико-механических характеристик предварительным уплотнением и двухстадийным нагревом порошка позволяют считать электроконтактное припекание эффективным технологическим процессом для упрочнения широкого класса деталей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 17359-82. Порошковая металлургия. Термины и определения. – М.: Стандарты, 1982.
2. Ярошевич, В.К. Электроконтактное упрочнение / В.К. Ярошевич, Я.С. Генкин, В.А. Верещагин. – Минск: Наука и техника, 1982. – 256 с.
3. Ярошевич, В.К. Классификация методов активирования процессов получения покрытий припеканием металлических порошков / В.К. Ярошевич, Т.М. Абрамович // Математические модели физических процессов: Материалы 11-й международной научной конференции. – Таганрог: Изд-во ТГПИ, 2005. – С. 44-50.
4. Дорожкин, Н.Н. Технологические основы получения порошковых покрытий с использованием импульсных методов / Н.Н. Дорожкин, В.К. Ярошевич, А.С. Гурский // Математические модели физических процессов: Материалы 11-й международной научной конференции. – Таганрог: Изд-во ТГПИ, 2005. – С. 51-56.

#### Аннотация

##### **Технологические особенности упрочнения режущих элементов машин электроконтактным припеканием порошков**

Рассмотрены пути повышения качества покрытий на режущих элементах машин за счет стабилизации теплового воздействия и обеспечения однородности свойств по ширине и глубине слоя.

#### Abstract

##### **Technological features of hardening of cutting machines electric sintering of powders**

There have been discussed the ways of improving coatings on cutting elements of machines with help of thermal influence stabilization and maintenance of homogeneity properties by width and depth of coatings.