

вальцовывание микротрещин и снижение ше-

### ВЫВОД

Технология обработки рабочей поверхности штока гидроцилиндра может быть составлена из следующих операций: точение предварительное, точение чистовое призматическим резцом (для коротких валов) и (или) резцом с МОРК (для штоков большой протяженности), вибронакатывание (ИСВ), хромирование и обкатывание тороидальным роликом. Последовательность операций представленного способа обработки рабочей поверхности штока позволяет расширить технологические возможности механической обработки по повышению точности полученных размеров, снижению шероховатости обрабатываемой поверхности и повышению ее износостойкости, осуществить выбор параметров и режимов процесса для получения необходимого качества изделия при оптимальной производительности.

роховатости поверхности до  $R_a = 0,16-0,2$  мкм.

### ЛИТЕРАТУРА

1. **Размерно-чистовая** обработка деталей машин пластическим деформированием взамен резания. – М.: НИИМаш, 1965. – 244 с.
2. **Шнейдер, Ю. Г.** Эксплуатационные свойства деталей с регулярным микрорельефом / Ю. Г. Шнейдер. – Л.: Машиностроение, 1982. – 248 с.
3. **Одинцов, Л. Г.** Финишная обработка деталей алмазным выглаживанием и вибровыглаживанием / Л. Г. Одинцов. – М.: Машиностроение, 1981 – 160 с.
4. **Шатуров, Г. Ф.** Исследование процесса изнашивания токарного инструмента / Г. Ф. Шатуров, В. А. Лукашенко, Д. Г. Шатуров // Вестник БРУ. – 2006. – № 3. – С. 113–118.
5. **Справочник** технолога машиностроителя: в 2 т. / под ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1985.
6. **Шатуров, Г. Ф.** Прогрессивные процессы механической обработки / Г. Ф. Шатуров, Ж. А. Мрочек. – Минск: Технопринт, 2001. – 460 с.
7. **Подураев, В. Н.** Упрочняющая обработка валов комбинированным инструментом / В. Н. Подураев, Г. Ф. Шатуров, Е. М. Шарпов // Станки и инструмент. – 1977. – № 3. – С. 37–38.

Поступила 14.04.2008

УДК 629.113.004.67

## ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЕ ПРИПЕКАНИЕ ПОРОШКОВЫХ ПОКРЫТИЙ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ ИХ СВОЙСТВ

*Докт. техн. наук, проф. ЯРОШЕВИЧ В. К.*

*Белорусский национальный технический университет*

Припекание в соответствии с ГОСТ 17359–82 – это технологический процесс получения покрытий, заключающийся в нанесении на поверхность детали порошковой формовки или слоя порошка, а также в нагреве их до температуры, обеспечивающей спекание порошкового материала и образование прочной диффузионной связи с деталью [1].

Электроконтактное припекание предусматривает нагрев металлического порошка, засыпаемого между деталью и электродом, за счет тепловой энергии, выделяемой электрическим током на активном сопротивлении [2]. Процесс припекания обеспечивается совместным дей-

ствием на порошковый слой высокой температуры (0,9–0,95 температуры плавления порошка) и давления (до 100 МПа).

При упрочнении плоских поверхностей деталей основной технологической схемой является прокатка порошкового слоя роликовым электродом (рис. 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 процес-

са и снизить время для его осуществления приблизительно на два порядка.

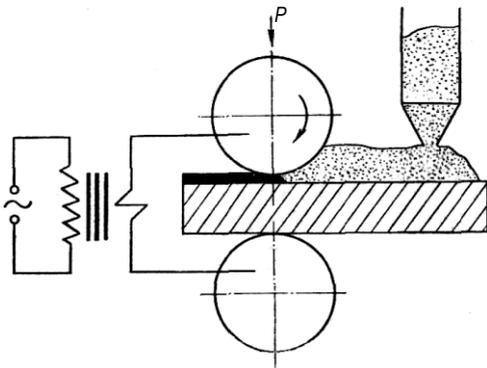


Рис. 1. Схема электроконтактного нанесения покрытий на плоские поверхности

Рассмотрим некоторые пути повышения качества порошковых покрытий, полученных электроконтактным припеканием.

**Стабилизация качества слоя по длине при упрочнении длинномерных деталей.** Формирование покрытия при электроконтактном припекании осуществляется при температуре, ниже температуры плавления материала покрытия. Выбор температурного режима припекания осуществляется на основе анализа температурного поля в детали. Это особенно важно при упрочнении длинномерных плоских деталей (ножи грейдеров, бульдозеров, противорезущие брусья комбайнов), для которых неправильный выбор режима вызывает значительные температурные деформации и разброс физико-механических свойств 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 конце процесса составляет около 150 К (рис. 2).

В зависимости от длины упрочняемой детали выбирают скорость припекания, обеспечивающую поддержание температуры в заданном интервале  $((0,9-0,95)T_{пл})$ . Максимальное же зна-

чение скорости  $w_{pmax}$  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).

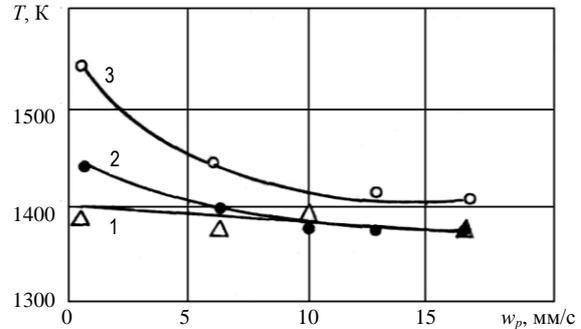


Рис. 2. Зависимость температуры под роликовым электродом в конце процесса нанесения покрытия от скорости припекания: 1 – длина детали 300 мм; 2 – 400; 3 – 600 мм

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

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

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).

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

Уплотнение порошка осуществляется только на участке I, на участках II и III 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 теплоты, а твердость и прочность сцепления

таких покрытий имеют максимальные значения. На участках II и III порошок 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 (рис. 3). С увеличением скорости припекания размер центрального участка уменьшается, а участков с неполным спеканием – увеличивается.

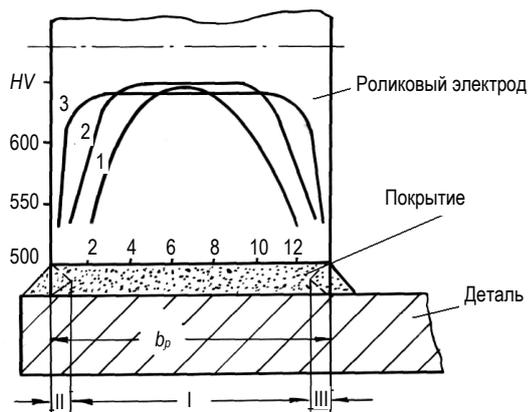


Рис. 3. Зависимость твердости по ширине покрытия из порошка ПГ-С1 от скорости перемещения роликового электрода: 1 – 50 мм/с; 2 – 16; 3 – 9 мм/с

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 стыкуются упрочняемыми поверхностями, образуя общую плоскую поверхность (рис. 4а). На линию стыка деталей, расположенных в одной плоскости, насыпают слой порошка, равный двойной ширине упрочняемой режущей кромки, а в процессе нанесения покрытия середина роликового электрода перемещается по линии стыка обеих деталей. После окончания процесса 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 образуется 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 (рис. 4б). К поверхности детали, образующей с упрочняемой режущую кромку, подводят второй электрод и располагают его в зоне, непосредственно прилегающей к упрочняемой поверхности. Благодаря размещению электродов 2 и 2' близко друг от друга происходит интенсивный локальный нагрев режущей кромки. Указанный способ позволяет увеличить ширину и физико-механические свойства нанесенного покрытия.

Повысить качество формирования режущей кромки можно также с помощью дополнительного давления на крайние участки покрытия со стороны неэлектропроводных роликов (рис. 4в).

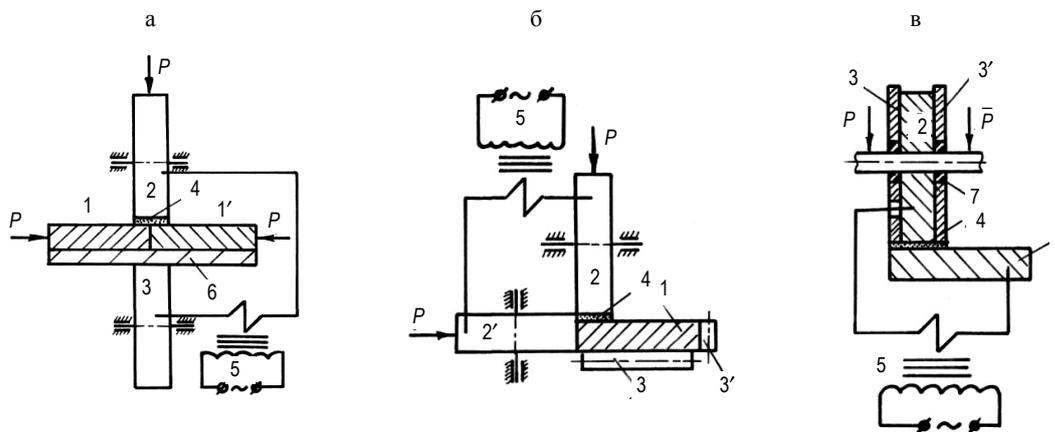


Рис. 4. Способы нанесения покрытий на кромки деталей: а – одновременное нанесение покрытий на две детали; б – интенсификация прогрева кромки; в – создание давления по краям токоведущего ролика; 1, 1' – упрочняемая деталь; 2, 2' – роликовый электрод; 3, 3' – опорный ролик; 4 – порошок; 5 – источник тока; 6 – установочная поверхность; 7 – упругий элемент

На одной оси с роликовым электродом 2 с обеих сторон на упругих элементах установлены опорные ролики 3 и 3' из электроизоляционного материала или материала с большим электрическим сопротивлением. При пропускании электрического тока порошок уплотняется и роликовый электрод 2 опускается вниз, а опорные ролики 3 и 3' остаются на своих местах. Компенсация в разнице перемещений происходит за счет упругих элементов 7, создающих дополнительное давление на крайние участки припекаемого слоя. Такое распределение давления повышает качество покрытия и стабильность его свойств по ширине.

**Улучшение физико-механических свойств покрытий предварительным уплотнением и двухстадийным нагревом порошка.** Для повышения физико-механических свойств покрытий, полученных электроконтактным припеканием, целесообразно использовать способ с предварительным уплотнением порошка гармонически колеблющимся штампом.

Суть способа заключается в следующем. 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 переемычку. Под действием внешнего давления 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.

## ВЫВОД

Электроконтактное припекание является эффективным технологическим процессом упрочнения широкого класса деталей. Рассмотрены пути повышения качества покрытий на плоских поверхностях изделий 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.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Ярошевич, В. К.** Припекание / В. К. Ярошевич // Краткая энциклопедия. Белорусская ССР. – Минск, 1980. – Т. 3. – С. 416–417.
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 междунар. науч. конф. – 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 междунар. науч. конф. – Таганрог: Изд-во ТГПИ, 2005. – С. 51–56.

Поступила 14.04.2008