

**УДК 621.793**

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ УПРОЧНЕНИЯ  
НАПЫЛЕННЫХ ПОКРЫТИЙ**

**Н.В. Спиридонов, И.О. Соколов**

*Белорусский национальный технический университет, Минск;*

**М.В. Нерода**

*УО «Брестский государственный университет», Брест;*

**А.А. Баркун**

*ПО «Минский тракторный завод», Минск*

Для повышения адгезии и физико-механических свойств напыленных покрытий применяются различные способы их термической обработки: диффузионный отжиг, спекание и т.п.

Для покрытий из самофлюсующихся порошковых материалов на основе никеля, железа, хрома такими способами являются припекание и оплавление. При этом исключается свойственная напыленным слоям пористость и за счет диффузионных процессов увеличивается на порядок прочность сцепления напыленного слоя с основой.

Оплавление – наиболее трудоемкая и ответственная операция в технологии получения покрытий. В зависимости от применяемого источника нагрева существует несколько способов оплавления: газовой горелкой, печное, токами высокой частоты, плазменное, в жидких теплоносителях, микроплазменное, световым или лазерным лучом.

Применение того или иного метода определяется материалом покрытия, конфигурацией и размерами деталей, требованиями к ограничению деформаций и теплового воздействия на сердцевину детали, производительностью процесса.

Газопламенное оплавление ацетилено-кислородной или пропан-кислородной смесью – наиболее распространенный ручной способ в мелкосерийном производстве или ремонтных работах.

Печное оплавление чаще всего применяется в качестве окончательной операции для плоских поверхностей. В остальных случаях печной нагрев используется для подогрева деталей, как правило, большой массы. Наилучшие результаты получаются при оплавлении покрытий в среде защитных газов или под защитным слоем из тугоплавких материалов (керамики), т.к. при этом поверхность детали предохраняется от окисления и стекания оплавляемого покрытия. Этот метод оплавления наиболее стабильный, производительный, может применяться в серийном производстве. Однако при длительной выдержке возможен рост зерна стали в основе детали. При указанном способе затруднен контроль процесса оплавления.

Оплавление токами высокой частоты как окончательная операция применяется для числа деталей ограниченной номенклатуры, как и печное, и чаще всего используется в сочетании с доводочной операцией – газопламенным оплавлением. При этом способе на эффективность нагрева существенное влияние оказывают физические и магнитные свойства обрабатываемых материалов и проницаемость для токов высокой частоты. Этот метод эффективен для единичного и мелкосерийного производств.

При плазменном оплавлении используются обычные напылительные плазмотроны, но при режимах, обеспечивающих «мягкий» факел плазменной струи. Этот способ близок к газопламенному оплавлению, но более дорогостоящий.

Оплавление в жидких теплоносителях осуществляется путем погружения деталей в расплав солей и выдержки их при заданной температуре. Этот способ отличается равномерностью нагрева напыленного покрытия, возможностью поддержания с высокой степенью точности заданной температуры, надежностью защиты детали и покрытия от внешней среды, высокой производительностью и простотой и может применяться в серийном производстве.

Плазменный, микроплазменный, электронно-лучевой, световой и лазерный способы позволяют создавать концентрированные потоки энергии и, соответственно, осуществлять локальный нагрев детали. С

высокими скоростями нагреваются лишь малые объемы покрытия и основы, что дает возможность осуществлять зонное оплавление и предотвращать структурные изменения и деформирование основы. Эти способы наиболее эффективны для оплавления покрытий тонкостенных, длинномерных и сложнопольных деталей, сердцевина которых не должна подвергаться высокотемпературному нагреву. Способы применимы в серийном и в единичном производстве, когда по технологическим параметрам невозможно использование других методов оплавления.

Электронно-лучевое оплавление находит ограниченное применение в связи с необходимостью осуществления процесса в вакуумных камерах.

Производительность процессов оплавления лазером и ТВЧ повышается с ростом мощности установок. При использовании технологических лазеров мощностью 5 кВт и выше производительность процесса приближается к производительности печного способа. При скоростных локальных способах нагрева достигаются более высокие эксплуатационные характеристики покрытий, однако увеличивается их склонность к трещинообразованию.

По суммарным удельным затратам на операцию оплавления способы располагаются следующим образом: газопламенный, печной, микроплазменный, ТВЧ, лазерный.

Целесообразность применения того или иного способа оплавления покрытий определяется, в первую очередь, возможностью соблюдения технических условий на деталь, во вторую – экономическими показателями.

Применение газопламенного способа оплавления ограничивается массой деталей (как правило, не более 10 кг), микроплазменное оплавление и ТВЧ – конфигурацией деталей (круглые и плоские).

Печной способ характеризуется сложностью контроля процесса оплавления. Лазерный – является наиболее универсальным, но пока самым дорогостоящим. По мере повышения мощности и снижения удельной стоимости оборудования этот способ будет находить все большее распространение как по достигаемым качественным характеристикам покрытий, так и по технологическим возможностям, что позволит разрабатывать гибкие автоматизированные процессы.

В заключение следует отметить, что всегда существуют ограничения, которые необходимо учитывать при выборе способа упрочнения. Для большинства крупногабаритных, тонкостенных деталей, изготовленных из конструкционных сталей, основными ограничениями являются недопустимость развития термических напряжений, способных

привести к поводкам и деформациям; развитие процессов отпуска, возврата и других структурных превращений в материале основы при нагреве, приводящих к снижению эксплуатационных свойств; возможность образования на упрочняемой поверхности толстой окисной пленки, затрудняющей образование соединения между основным металлом и покрытием. Следовательно, температура нагрева детали является важнейшим фактором, определяющим выбор метода упрочняющей технологии. Кроме того, необходимо также учитывать массу и конфигурацию детали, доступность ее поверхностей для использования конкретного вида обработки, коэффициент использования материала, эксплуатационные свойства наносимого слоя и экономическую целесообразность метода. Для тонкостенных, длинномерных, крупногабаритных и других чувствительных к нагреву быстроизнашивающихся деталей применение методов нанесения покрытий, сопряженных со значительной величиной теплового вложения, практически невозможно. Проблема упрочнения (восстановления) деталей этого класса может быть решена путем использования методов локального поверхностного нагрева.