



ПО СТРАНИЦАМ «WELDING AND CUTTING», 2009, № 2

R. Bolot, J.-L. Seichepine, Ch. Coddet et al.

ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ AlSi ПОЛИЭФИРНЫХ ИСТИРАЕМЫХ ПОКРЫТИЙ

Истираемые заглушки используются в аэрокосмической области с целью контроля утечек между лопатками ротора двигателя и его статическими частями. Для того чтобы получить сочетание необходимых свойств, заглушки создавали с использованием термически напыленных покрытий, которые, как правило, получали с применением двух- или трехфазных порошковых смесей. В работе использован метод конечных элементов и конечных разностей, основанных на двухмерных структурах, взятых из микрофотоснимков. Изучена и измерена теплопроводность термически напыленных AlSi полиэфирных истираемых покрытий, полученных из порошков Metco 601 NS и Durabrade 1605. Полученные значения сравнивали с экспериментальными.

Для расчета эффективной теплопроводности изготавливаемых двухфазных покрытий использовали два численных кода, основанных на методе конечных элементов и конечных разностей. Эти два кода испытаны для микроструктур поперечного сечения одного покрытия. Несмотря на то что была

замечена разница относительно прогнозируемой эффективности теплопроводности, обеспечиваемой двумя кодами, результаты хорошо сочетались с экспериментальными данными. В частности, соотношение между эффективной теплопроводностью покрытия и теплопроводностью AlSi было выше 200, следовательно, обеспечивается эффективная теплопроводность примерно $0,5 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$. Этот результат очень отличается от покрытий YPSZ или пористого оксида алюминия (исследованных ранее), для которых это соотношение более низкое. В соответствии с расчетными данными первым критерием при рассмотрении микрофотоснимков является не самое большое возможное расширение (как для пористого ТВС, например), а способность охватить достаточно большую область, что дает хорошее представление о связанности AlSi фазы. Представленные результаты относятся к порошку Durabrade 1605, однако для порошка Metco 601 NS они аналогичны.

C. Selcuk, S. Bond, P. Woollin et al.

СПОСОБЫ СОЕДИНЕНИЯ ПОРОШКОВЫХ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ (Обзор)

Способы порошковой металлургии (ПМ) обладают высокой производительностью и идеально подходят для создания деталей с формой, близкой к готовой детали, особенно сложной геометрии, используя материалы, которые максимизируют использование материала и, следовательно, минимизируют или исключают вторичную обработку такую, как механическая обработка. Последняя характерна для деталей, полученных с помощью обработки жидкого металла (например, при литье), и приводит к дополнительному этапу производства со значительными затратами и созданием отходов. Тем не менее, несмотря на такое очевидное преимущество способов ПМ, соединение материалов, синтезированных из порошков, связано с трудностями, которые касаются их природных характеристик таких, как пористость, загрязнение и включение, на уровнях, склонных влиять на свойства сварного соединения. В данной статье представлен обзор современного уровня развития сварных компонентов ПМ. Сделана попытка идентифицировать получившие предпочтение способы соединения и обозначить явные технологические проблемы при соединении изделий ПМ.

Сегодня имеется большой диапазон порошковых материалов и они доступны для широкой номенклатуры сплавов, но не существует универсального способа их соединения. Тем не менее имеется определенное количество сварочных характеристик для изделий из ПМ, которые отличаются от тех, которые имеют отношение к кованным или литым эквивалентам (либо в последовательности производственного маршрута либо в типичном применении изделия ПМ). Например, если изделия ПМ используются для разных высокоточных применений, желательно выполнять сварку с помощью процесса, который обеспечивает минимальную деформацию. В данном случае дается предпочтение способам с низким количеством подводимого тепла таким, как лазерная и электронно-лучевая сварка, но любой способ с низким количеством подводимого тепла также неизбежно приведет к быстрому охлаждению и, следовательно, высокой твердости в стальных деталях, особенно, с более высоким содержанием углерода. Не ясно могут ли спеченные детали быть сварены электронным лучом в вакууме, однако, принимается во внимание природная пористость, в которой могут задерживаться газы и примеси, которые могут быть вплавлены в



шов. Снижение вакуума при электронно-лучевой сварке, для которой требуется вакуум приблизительно 10^{-3} мбар, может быть подходящим для использования при сварке спеченных деталей ПМ, так как предотвращает трудности в получении соответствующего вакуума, но этот способ находится еще в состоянии разработки.

Как и при сварке металлических материалов, недопустимым при сварке деталей из ПМ является образование дефектов. Любая пористость в изделии ПМ склонна заключать в себе загрязняющие вещества и газы, что может привести к образованию пор в металле шва и вызвать отдельные моменты, повышающие чувствительность к проявлению горячего и холодного растрескивания. Например, серные и фосфорные загрязняющие вещества провоцируют образование усадочных трещин, тогда как влага и углеродные загрязняющие вещества приводят к водородному растрескиванию.

Для того чтобы минимизировать такие проблемы, очевидно необходимо поддерживать чистоту поверхности. Для этого желательно избегать обработки паром, а перед сваркой необходимо выполнить обезжиривание поверхности. Если загрязнение существует, целесообразно использование прирабочного металла, являющегося более приемлемым к загрязнению, чем основной металл, например, никелевого сплава, в случае с которым предпочтительно использовать способы дуговой сварки. Одним из возможных преимуществ взаимосвязанной пористости может быть тот факт, что во-

дород способен диффундировать через открытые пористые структуры при сварке стальных изделий ПМ, что может сделать их более стойкими к водородному растрескиванию.

Если пористость в основном металле значительная, то это может привести к отрыву металла, прилегающего ко шву просто из-за развития пластической деформации за рамками возможностей изделия ПМ, возможно обостренной фактором геометрического влияния на соединение. В таком случае желательнее использование низкого количества подводимого тепла для сокращения количества деформированного материала, а сварка трением может быть целесообразной, поскольку сжатие, имеющее место, склонно закрывать поры. На самом деле для изделия ПМ, как правило, используют сварку трением, благодаря силе сжатия и тому факту, что она удаляет первоначальный слой, который может быть загрязнен, с поверхности соединения.

Очевидным является то, что характеристики порошковой частицы, влияющие на спекание изделия ПМ, и, следовательно, его окончательную пористость, не получили достаточного внимания с точки зрения исследования поведения при сварке. Для того чтобы получить хороший контроль пористости и минимизировать ее негативное влияние при сварке, необходимо уделить внимание влиянию характеристик порошковой частицы, таким, как форма частицы, размер и площадь поверхности, плотность и пористость прессованного порошка для улучшения свариваемости.

H. Koivuluoto, S. M. Kotilainen, P. Vuoristo.

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ХОЛОДНЫМ НАПЫЛЕНИЕМ ПРИ ВЫСОКОМ И НИЗКОМ ДАВЛЕНИИ (Обзор)

Холодное напыление — это новый процесс термического напыления, который позволяет изготавливать металлические и композитные покрытия с низкой пористостью и низким содержанием кислорода. Такие покрытия являются очень привлекательными для применения в случаях, например, защиты от коррозии и электропроводности. В работе представлены характеристики структуры и механических свойств покрытий ХНВД (холодное напыление при высоком давлении) и ХННД (холодное напыление при низком давлении). Покрытия Та, Ni и Cu при ХНВД демонстрируют однородную плотную структуру; тогда, как покрытия Ni₂₀Cr ХНВД и Cu+Al₂O₃ ХННД включают сквозную пористость, согласно испытаниям на коррозию. Более того, LALPCS (выполняемые с помощью лазера) продемонстрировали значительное улучшение плотности покрытия Cu+Al₂O₃.

Как правило, покрытия ХНВД имеют плотную структуру (пористость отсутствует или уровень пористости низкий). В данной работе была четко показана высокая плотность Та, Cu и Ni покрытий ХНВД. Это открывает большие преимущества для покрытий, полученных холодным напылением. При соударении вследствие деформационного упрочнения частицы ХНВД сильно деформируются. У процесса ХНВД скорость частиц выше, чем у процесса ХННД из-за более высокого давления и температуры. Это улучшает свойства покрытий, указывая на высокую твердость, благодаря деформационному упрочнению, и на подходящее соединение из-за деформации частиц. Очевидно, что плоская форма частиц появляется в результате деформации частиц. Более того, граница раздела между покрытием и подложкой является самой слабой точкой при испытании на растяжение, отображая разрушение адгезионного типа и приемлемые связи между частицами.

В процессе ХННД, как правило, используют смеси металллокерамического порошка. Существует три основные

функции использования твердой фазы: активирующая, очищающая и проковочная. Частицы порошка также пластично деформируются при соударении, однако, необходимо отметить различные типы порошков (например, Cu дендритные частицы против сферических). Согласно РЭМ анализу и другим исследованиям, количество алюминия уменьшается по сравнению с исходным начальным порошком, а напыленное покрытие характеризуется активирующим и упрочняющим металлическую матрицу действием алюминия. Твердость покрытий ХННД также более высокая, но ниже, чем у покрытий ХНВД. При соударении в ХНВД происходит больше деформационного упрочнения и пластической деформации, что влияет на увеличение твердости. Cu+Al₂O₃ покрытие ХННД было визуально плотным, но сплошная пористость наблюдалась при измерениях потенциала открытия пор. Следовательно, для того чтобы исключить пористость и улучшить плотность был протестирован выполняемый с помощью лазера процесс ХННД. Получены перспективные результаты в отношении улучшения плотности Cu+Al₂O₃ покрытий LALPCS, которые демонстрируют плотную структуру покрытия при измерении потенциала открытия пор. Улучшение было значительным.

Таким образом, холодное напыление демонстрирует потенциал при создании плотных и без пустот металлических и композитных покрытий. Плотность и герметичность имеют важную роль в отношении коррозионной защиты покрытий. На данный момент достигается однородная плотность Та, Cu и Ni покрытий ХНВД, что является следствием оптимизации порошка, параметров напыления и их сочетания. Следующим шагом будет улучшение связи между частицами и границей раздела покрытие-подложка. Кроме того, покрытия ХННД требуют улучшения плотности, а для этого использование лазера является единственной возможностью. Оптимизация и разработка будут продолжаться в будущем.