

## УТОЧНЕННАЯ ФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПЛАЗМЕННОГО УПРОЧНЕНИЯ

Доц. Жемчужный М.И. (ВГТУ)

Важным резервом экономии энергетических и сырьевых ресурсов является применение поверхностного упрочнения, позволяющее осуществить целенаправленный синтез материалов с заданными свойствами, резко повысить срок службы изделий, улучшить их эксплуатационные характеристики, снизить стоимость изготовления и ремонта.

Традиционные методы упрочнения (печная закалка, закалка ТВЧ, газопламенная закалка и др.) имеют низкие КПД и скорость нагрева, плотность мощности, высокую потребляемую мощность и наносят значительный ущерб окружающей среде. В настоящее время страны с низким потенциалом энергетических и сырьевых ресурсов (Япония, Корея и др.) для поверхностного упрочнения широко используют высококонцентрированные источники нагрева в виде ионного, электронного, лазерного лучей, электрической дуги и плазмы. Эти методы характеризуются высокой скоростью нагрева и охлаждения материалов, на несколько порядков превышающую значение характерные для традиционных методов упрочнения. Это способствует получению материалов с недостижимым ранее уровнем эксплуатационных свойств.

Однако, следует отметить, что если технологиям лучевого и электродугового упрочнения посвящено большое число монографий, статей и сборников, то технология и оборудование для плазменного упрочнения, характеристики упрочненных этим способом изделий мало освещены в литературе. Это объясняется сложностью теоретического изучения ионизированного состояния вещества. Имеют место разнообразные процессы переноса (тепло-массообмен, электропроводность, излучение, конвекция и т.п.), взаимодействие с внешними и собственным магнитным полем. Поэтому инженерный расчет интегральных характеристик плазматронов оказывается возможным только на основе метода моделирования процессов в плазменной камере и отыскания полуэмпирических соотношений.

В предлагаемой работе авторы предприняли попытку уточнить физическую модель плазменного канала. Данная попытка спровоцирована рядом про-

тиворечивых фактов, встречающихся в литературе по этой проблеме. Так, изменение удельного теплового потока по радиусу пятна нагрева и для плазменной струи и для плазменной дуги принято описывать законом нормального распределения (1). В более современных источниках (2) утверждается, что структура термического воздействия на мишень имеет ступенчатую форму с явно выраженным концентратором посреди опорного пятна. А канал плазмы состоит из сердцевины с высокой кинетической энергией и температурой до  $2 \cdot 10^4$  К и оболочки обладающей высокой массой частиц, но относительно низкой температурой  $(2-3) \cdot 10^3$  К. Утверждение о том, что под воздействием магнитной индукции обладающие большой подвижностью электроны движутся быстрее, чем ионы(3), дало основание предложить гипотезу о коаксиальном строении плазменного канала. Причем сердцевина канала состоит из потока электронов, а оболочка из ионов и нейтральных частиц (атомов, молекул, радикалов). Опорное пятно плазменного канала непрерывно сканирует по поверхности мишени с постоянной скоростью. Для получения квазивозрастающей вольтамперной характеристики канал плазмы питается импульсами постоянного тока частотой 5-20 кГц, амплитудой 20-30 кВ и скважностью 2.

Преимущества предполагаемой физической модели по сравнению с известными следующие:

1. Допущение о двухслойном коаксиальном строении канала плазмы удачно объясняет ступенчатость термического воздействия на мишень и градиент скоростей заряженных частиц.
2. Крутизна температурных фронтов оправдывает допущение о скачкообразном переходе энергии между слоями плазменного канала.
3. Реальное выделение энергии на длине свободного пробега электронов и ионов в металле протекает не равномерно. Но учитывая, что ширина зон канала значительно больше глубины их воздействия на металл, допущение о линейном характере выделения энергии по сечению канала не внесет значительных погрешностей в расчеты, однако упростит анализ и математическое описание процесса.
4. Отличие между импульсной обработкой и непрерывным сканированием заключается в различном времени воздействия канала плазмы на металл. Однако, при длительности импульса больше или равной отношению диаметра канала к скорости сканирования, этом отличием можно пренебречь.

Физическая модель позволяет описать движение проводящей вязкой среды в постоянном внешнем магнитном поле при следующих условиях:

1. При неподвижном относительно мишени канале плазмы и атмосферном давлении.
2. При неподвижном канале плазмы и снижении атмосферного давления до полного вакуума .
3. При неподвижном канале плазмы и вращающемся магнитном поле.
4. При сканировании канала плазмы с постоянной скоростью и атмосферном давлении.
5. При сканировании канала плазмы с постоянной скоростью и снижении давления до полного вакуума.
6. Диссипацию энергии канала плазмы в мишени при всех вышеперечисленных случаях.

Кроме указанных закономерностей, физическая модель позволила установить, что увеличение магнитного поля делает энергетический профиль более плоским и уменьшает среднюю энергию канала плазмы.

На основе физической модели была создана серия установок с различными вариантами плазменных генераторов. Установки позволяют генерировать плазму с амплитудой импульса до 30000 вольт частотой  $(5-20) \cdot 10^3$  Гц, скважностью 2. Плазма устойчиво горит в среде воздуха, углекислого газа, азота, водорода, аргона, а так же неплазмообразующих углеводородных смесей. Это позволяет с ювелирной точностью производить цементацию, азотирование, алитирование и другие методы химико-термической обработки. Установки удобно использовать для микрозакалки и избирательного лигирования поверхностей. При ее реализации выделяется озон, пополняющий атмосферу земли.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Патон Б.Е. Плазменные процессы в металлургии и технологии неорганических материалов. -М: Наука, 1973, с.24.
2. Ладохин С.В., Корнюшин Ю.В. Электронно-лучевая гарнисажная плавка металлов и сплавов. -Киев: Наукова думка, 1988, с.18.
3. Ландау Л.Е., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. -М: Наука, 1959г., 526 с.