

данного обтяжного пуансона, обеспечивает необходимый прижим (рис. 2).

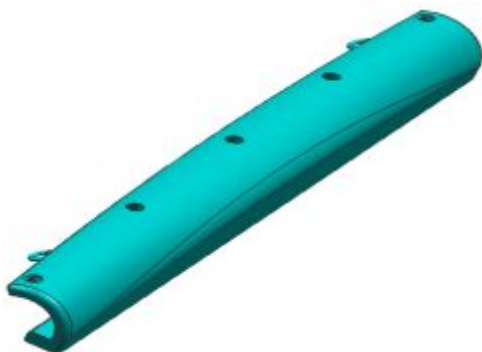


Рис. 2. Конструкция дополнительного «клюва» зажима прессы

Рекомендуется разработанный способ формообразования обтяжкой из листовых заготовок алюминиевого сплава производить в отожженном состоянии, для обеспечения служебных свойств окончательную калибровочную операцию выполнять в свежезакалённом состоянии.

#### Библиографический список

1. Попов Е.А. Основы теории листовой штамповки. - М.: Наука. 1969. С. 34–90.
2. Филин А.П. Элементы теории оболочек. – Л.: Стройиздат, 1975. 256 с.
3. Новожилов В.В. Теория тонких оболочек. – Л.: Судпромгиз, 1962. 431 с.

УДК 621.791.9

## ЛАЗЕРНАЯ ОБРАБОТКА ПОДСЛОЯ ИЗ NI-AL СПЛАВА ДЕТАЛЕЙ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ

©2016 С.П. Мурзин, С.А. Афанасьев, М.В. Блохин

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

### A LASER PROCESSING OF GTE PARTS UNDERLAYER MADE BY NI-AL ALLOY

Murzin S.P., Afanasiev S.A., Blokhin M.V. (Samara National Research University, Samara, Russian Federation)

*Before spraying the wearability coating of the gas turbine engine high-pressure compressor stator has been proposed to realize the laser processing of the Ni-Al alloy sub-layer with intense heating of the processed surface peripheral areas. Tests on joint deformation has shown that the use of laser treatment of a sub-layer provides an opportunity to increase the angle of bending without cracking and flaking of coatings. This indicates a higher coating strength of this type.*

Повышение прочности приваривания частиц к основе по мере повышения её температуры объясняется двумя процессами: расширением пятна химического взаимодействия, на котором частица приваривается к основе, и повышением прочности в самом пятне. Увеличение мощности теплового потока плазменной струи вызывает пропорциональное увеличение интенсивности нагрева изделия. Недопустимо высокая температура приводит к снижению физико-механических характеристик основного конструкционного материала. В этом случае подогрев плазмой лимитируется достижением критических температур в зоне перехода от основы к покрытию, характеризующих снижение конструктивных свойств материала основы. Кроме того, на воздухе подогрев большинства металлов и сплавов вследствие

окисления ограничен температурой 373...573 К. Для уменьшения нагрева изделий при нанесении покрытий тепловое воздействие плазмы сводится к минимуму разделением в пространстве потока частиц и плазменной струи. Отклонение осуществляется сдувом плазмы в сторону поперечным потоком газа или применением плазмотрона специальной конструкции, в котором потоки частиц и плазмы уже в сопле разделяются и направляются в разные стороны. При реализации технологических процессов плазменного напыления в ряде случаев необходимо охлаждать изделие сжатым воздухом. С целью повышения твёрдости, прочности сцепления и газонепроницаемости нанесённое на поверхность изделия покрытие может быть подвергнуто дополнительной термической обработке. Например, проплавление слоя

самофлюсующихся твёрдых сплавов системы Ni-Cr-B-Si, наносимых для защиты деталей от абразивно-коррозийного воздействия рабочей среды, уменьшает их пористость и повышает термомеханические свойства.

Практический интерес представляют исследования повышения эксплуатационных свойств лазерной обработкой композиционных материалов с интерметаллидным покрытием из терморегулирующего никель-алюминиевого сплава в качестве подслоя. Особенностью плазменного напыления никель-алюминиевого сплава является повышенное тепловыделение, обусловленное протеканием экзотермической реакции образования алюминида никеля. Выделение дополнительной энергии от экзотермической реакции возможно также при последующем термическом воздействии. В этом случае при лазерном воздействии происходит заплывление пор, трещин, осуществляется приварка покрытия и основы, что предоставляет возможность увеличения прочности сцепления.

В качестве срабатываемого покрытия статора компрессора высокого давления газотурбинного двигателя (ГТД) используется двухслойное покрытие из терморегулирующего никель-алюминиевого сплава толщиной 0,1...0,5 мм и спецслоя алюминий – нитрид бора толщиной 1,0...1,5 мм с пористостью 30%. Материал спецслоя имеет рабочую температуру до 450°C, высокую истираемость и стабильные свойства. Особенностью плазменного напыления подслоя из никель-алюминиевого сплава является повышенное тепловыделение, обусловленное протеканием экзотермической реакции образования алюминида никеля. Выделение дополнительной энергии от экзотермической реакции возможно также при последующем термическом воздействии. В этом случае при лазерном воздействии происходит заплывление пор, трещин, осуществляется приварка покрытия и основы, что предоставляет возможность увеличения прочности сцепления.

При двухстадийной обработке поверхности – напылении и последующем лазерном воздействии – лазерное воздействие предоставляет возможность дополнительно реализовать или завершить стадию развития объёмного взаимодействия материала основы с материалом частиц покрытия. Термический

цикл обработки лазером на 3-4 порядка больше времени взаимодействия частиц с подложкой при газотермическом способе нанесения покрытий, когда удар и деформация частиц приводят к их быстрой кристаллизации и охлаждению со скоростями, достигающими  $10^6...10^8$  К/с. При лазерной обработке время воздействия составляет не менее  $10^{-4}$  с и на каждом элементарном участке поверхности контакта успевают произойти стадия активации контактных поверхностей с химическим взаимодействием материалов на границе раздела фаз. При лазерной обработке целесообразно осуществить более интенсивный нагрев периферийных участков поверхности обработки для выравнивания температурного поля в пятне нагрева. Использование полосового энергетического источника при лазерной обработке может обеспечить снижение уровня остаточной напряжённости в нанесённых покрытиях.

Отличительными особенностями является то, что в качестве основных параметров режима обработки рассматриваются форма лазерного пятна и распределение плотности мощности излучения, расчёт которых проводится в соответствии с результатами решения обратной задачи теплопроводности на основе математической модели тепловых процессов в конструкционных материалах при воздействии движущихся распределённых поверхностных тепловых источников, с помощью оптических устройств формирования лазерных потоков создаётся требуемое распределение интенсивности лазерного излучения в зоне термического влияния. Для испытаний на совместную деформацию покрытия изготовлены образцы по традиционной технологии и с применением межоперационного лазерного нагрева напыляемой поверхности. Определено, что применение лазерной обработки подслоя предоставляет возможность увеличить угол изгиба без образования трещин и отслоения покрытий. Это свидетельствует о более высокой прочности данного вида покрытий. Результаты испытаний на врезание покрытий, полученных с использованием лазерной обработки подслоя: хорошая прирабатываемость; нормальная выработка; отсутствие сколов слоя; отсутствие значительного разогрева лопаток колеса.