электронное научно-техническое издание НАУКА и ОБРАЗОВАНИЕ Эл№ ФС 77 - 30569. Государственная регистрация №0421100025. I55N 1994-0408

Применение лазерной наплавки для устранения дефектов в титановых сплавах

77-30569/330149

03, март 2012 Попова Е. В., Тарасова Т. В., Смуров И. Ю., Сарбаев Б. С. УДК.00000 669-1

> МГТУ им. Н.Э. Баумана <u>keitpoulet@gmail.com</u> tarasova952@mail.ru

1. Введение

Применение процесса лазерной наплавки возможно для восстановления изношенных поверхностей, залечивания трещин для деталей, работающих на усталость и износ. Лазерную наплавку целесообразно применять для материалов, обработка которых традиционными методами не дает требуемых результатов.

Лазерная наплавка заключается в нанесении на поверхность обрабатываемого изделия покрытия путем расплавления основы и присадочного материала. Причем, поскольку основа расплавляется минимально, свойства покрытия зависят в основном от свойств присадочного материала [2-7].

В коаксиальной лазерной наплавке, порошок требуемого состава подается к подложке коаксиально лазерному лучу (рис. 1). В сравнении с лазерной наплавкой через поперечное сопло, в данном случае частицы доставляются к подложке с относительно высокой температурой, из-за более продолжительного взаимодействия с лазерным лучом. Очевидно, к подложке подлетает большее количество расплавленных частиц. Преимущество коаксиальной наплавочной головки заключается в возможности наплавки в любом направлении, в лучшей защите от окружающей атмосферы и относительно небольшой зоне термического влияния (3ТВ), в возможности формирования защитных покрытий точно в необходимой области, например, для условий износа или для восстановления локально поврежденных/изношенных поверхностей [1].

В данной работе проводится исследование перспектив использования лазерной наплавки титановых сплавов. Титановые сплавы широко применяются в ракетно-

космической и авиационной технике. Благодаря высокой удельной прочности и коррозионной стойкости, они используются практически во всех изделиях этих отраслей. Сплав BT23 относится к системе Ti-Al-V-Mo-Cr-Fe, состав сплава представлен в табл.1. Это среднелегированный α+β-сплав мартенситного класса. Сплав легко обрабатывается давлением, хорошо поддается ковке и штамповке, отличается высокой технологической пластичностью, хорошо сваривается.



Рис. 1. Схема устройства для подачи порошка в зону воздействия лазерного луча.

Лазерная наплавка оптимальна для восстановления дорогостоящих изделий из Ti-сплавов, она обеспечивает хорошую адгезию наплавленного слоя, точность обработки, не снижая свойств основного изделия и минимально изменяя его структуру.

Табл. 1.

Химический состав в % материала ВТ23

Fe	Cr	Мо	V	Ti	Al
0.4 - 0.8	0.8 - 1.4	1.5 - 2.5	4 - 5	84 - 89.3	4 - 6.3

2. Экспериментальная часть

Эксперименты по лазерной наплавке титановых сплавов были проведены в лаборатории DIPI ENISE, г. Сент-Этьен, Франция, с использованием установки DMD505 Trumpf (СО₂-лазер, максимальная мощность 5000 Вт) с мульти-системной подачей порошка, рис. 1, основные характеристики установки представлены в табл. 2. Порошок подается через сопло, коаксиально лазерному лучу СО2-лазера в ванну расплава, создаваемую на рабочей поверхности образца. Два питателя могут использоваться одновременно для смешивания порошков непосредственно в процессе позволяет получать многокомпонентные покрытия. Процесс наплавки, ЭТО минимальным тепловым воздействием на образец. сопровождается рабочий Использование коаксиального сопла также обеспечивает защиту от окисления [1].

Табл. 2.

скорость наплавки	20 - 150 см ³ /ч
толщина одного слоя	0,2 - 1,2 мм
допустимая ошибка	0,5 - 1 мм
размеры порошка	40 - 120 мкм

Основные характеристики установки: Trumpf DMD 505.

Для успешного наплавления порошка титана и его сплавов необходимо было решить проблему защиты такого порошка от окисления. При проведении процесса наплавки без присутствия защитной атмосферы, происходило сильное окисление образцов, вследствие чего наблюдалось частичное разрушение наплавленного слоя. Для решения данной проблемы была предложена конструкция, состоящая из «юбки» изготовленной из стеклоткани, препятствующей доступу кислорода в область наплавки. В качестве несущего и защитного газа использовался аргон.

Для определения целесообразности использования лазерной наплавки в качестве метода залечивания дефектов на дорогостоящих деталях из титановых сплавов (в частности, BT23), проводились экспериментальные исследования прочности соединения по стандартной методике ГОСТ 1497-84 в лаборатории механических испытаний Дмитровского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана. Использовались стандартные образцы (рис. 2). На 12 образцах имитировали трещину путем надреза фрезой глубиной 1 мм и длиной 10 мм.

Испытания на разрыв и определение предела прочности образцов проводились по стандартной методике ГОСТ 1497-84 на универсальной испытательной машине FP-100/1, фирмы "Heckert" (Германия). Образец фиксировался в зажимах, подавалась возрастающая с равномерной скоростью нагрузка, значения которой отражались на мониторе. В ходе эксперимента фиксировалась разрушающая нагрузка, а также максимальная нагрузка, которую способен выдержать данный образец.



Рис. 2. Образец для испытаний на прочность с нанесенной трещиной.

По результатам испытаний, были определены значения растягивающей силы в момент разрыва (P_k, кH), максимальная нагрузка, которую способен выдержать образец (P_{max}, кH), предел прочности при растяжении (σ_B, MПа).

В ходе эксперимента было использовано 14 образцов (два образца без трещины) и проведена лазерная наплавка при различных режимах. Порошок при лазерной наплавке наплавляли таким образом, чтобы «залечить» трещину. Два образца оставлены без наплавленных слоев, для сравнения. Еще на двух образцах проводили расплавление материала образца лазерным лучом без подачи порошка. Кроме того, для выявления реальных значений предела прочности для данного материала, использовали образцы без трещин. Заплавочный материал представлял собой сплав Ti6Al4V, химический состав сплава представлен в табл. 3. Режимы наплавки выбирались при варьировании мощности лазерного излучения (P=4000-5000 BT) и массового расхода порошка (Pd = 8,6-35,0 г/мин), значение скорости наплавки оставалось без изменений (V = 1000 об/мин).

Табл. 3.

Химический состав в % материала ТібАІ4	ала Ti6Al4V	% матери	состав в	Химический	X
--	-------------	----------	----------	------------	---

Fe	V	Ti	Al
0.40	3.5 – 4.5	88.35 - 90.6	5.5 - 6.75

Примечание: Ті - основа; процентное содержание Ті дано приблизительно

3. Результаты

Визуальный осмотр первых трех образцов показал неудовлетворительный внешний вид наплавленного валика. Наплавка таких образцов производилась в режиме, выбранном ранее в качестве оптимального режима наплавки для покрытий из материала Ti6Al4V. В результате было значительно снижено количество порошка, подаваемого в зону воздействия лазерного излучения, т.к. при подаче большого объема порошка не происходит заплавления трещины (наплавленный слой остается на поверхности образца, а не внутри трещины). Два образца были заплавлены без подачи порошка, соответственно для этих случаев были уменьшены значения мощности излучения. Также было исследовано влияние повторного переплавления лазерным лучом наплавленной области, подобная обработка улучшает обработанную поверхность, выравнивая ее.

Внешний вид образцов с заплавленной трещиной представлен на рис. 3. Видно, что при наплавке образуется небольшой валик из наплавочного материала, который затем необходимо отшлифовать, чтобы вернуть детали исходные размеры. При наплавке без подачи порошка нарушаются исходные размеры образца, в месте заплавки образуется канавка, что неприемлемо, если деталь работает в условиях износа.



Рис. 3. Внешний вид заплавленной терщины

В результате испытаний на разрыв на плоских образцах без трещины, были определены разрушающая нагрузка, а также максимальная нагрузка, которую способен выдержать образец до разрушения (P_{max} =63 кH, а также σ_B =1042 МПа и P_k =53,5 кH). Разрушение образцов с незаплавленной трещиной происходило ровно посередине трещины, внешний вид разрушенного образца представлен на рис. 4.

В случае образцов, заплавленных при оптимальном режиме с большим значением массового расхода порошка, происходило хрупкое разрушение. Причем в данном случае значения разрушающей нагрузки ниже (P_{max}=55,6 кH), чем в случае образцов с незалеченной трещиной (P_{max}=57,4 кH). При визуальном осмотре области разрушения, заметно, что полного заплавления трещины не произошло, и внутри образца осталась незаплавленная область, которая и послужила очагом разрушения. Внешний вид образца представлен на рис. 5, где хорошо видно внутреннюю трещину, которая осталась в образце. Минимальные значения разрушающей нагрузки среди данных образцов были получены на образце с повторным переплавлением, что свидетельствует о неблагоприятном влиянии повторного нагрева на свойства восстановленного изделия (P_{max}=54,3 кH). Это объясняется тем, что в результате повторного переплава и нагрева залеченной области происходит рост зерна в 3TB, что снижает механические свойства.



Рис. 4. Внешний вид образцов с трещиной после испытаний. Ртах≈58 кН.

Для остальных образцов, наплавка которых производилась с более низким значением подаваемого порошка, хрупкого разрушения не наблюдалось. Образец вел себя как целый, после достижения максимального значения нагрузки, при дальнейшем растяжении образца деформация происходила на небольшой длине образца, что привело к образованию шейки и к падению значения нагрузки, несмотря на то, что напряжение в сечении шейки непрерывно росло. Фиксировалось значение величины растягивающей силы в момент разрыва (P_{κ}). Внешний вид образцов представлен на рис. 6. В этом случае значение разрушающей нагрузки также было минимальным для образцов с повторным переплавлением, P_{max} =58,8 кH (по сравнению с другими образцами, восстановленными в том же режиме, P_{max} = 62,5 кH), что совпадает с результатами, полученными в предыдущем эксперименте.



Рис .5. Внешний вид области разрушения, Pmax=54-57кH, режим наплавки P=5кBт, V=1000мм/мин, Pd=10000об/мин.



Рис. 6. Внешний вид разрушенных образцов (№ 4, 6-10)

Таким образом, по результатам испытаний были определены значения растягивающей силы в момент разрыва (P_k, кН), максимальная нагрузка, которую способен выдержать образец (P_{max}, кН), предел прочности при растяжении (σ_B, МПа).

В результате анализа полученных данных был выбран оптимальный режим наплавки, при котором значения механических характеристик образца близки к характеристикам целого, неповрежденного образца: при наплавке в режиме: P=5 кВт, V=1000 об/мин, Pd=9,6 г/мин значение разрушающей нагрузки P_{max}=62,8 кН.

4. Выводы

1. Образцы из титанового сплава ВТ23, полученные при лазерной наплавке без порошка, показывают высокие механические свойства, близкие по значениям к целому образцу (P_{max}=61,7 кH), однако в области наплавки образуется канавка и происходит нарушение геометрических размеров.

2. По результатам испытаний выбран оптимальный режим лазерной наплавки титанового сплава Ti6Al4V на образец из сплава BT23.

3. При испытаниях на растяжение образец с наплавкой в оптимальном режиме ведет себя как целый. Механические свойства целого и заплавленного образцов практически не отличаются (значение разрушающей нагрузки P_{max}=62,8 кH, при значении на целом образце P_{max}=63 кH). Разрушение происходит с образованием шейки, вдали от залеченной трещины.

Список используемой литературы

- 1. I. Smurov, Laser cladding and laser assisted direct manufacturing. Surface and Coatings Technology 202 (2008), Issue 18, pp. 4496-4502.
- 2. John C. Ion, Laser processing of engineering materials, Elsevier, 2005.
- 3. William M. Steen, Laser material processing, 3rd edition, Springer, 2003.
- 4. E. Toyserkani, A.Khajepour, S.Corbin, Laser cladding, CRS press, 2005.
- 5. Oliveira de U., Ocelík V., De Hosson J.Th.M., Analysis of coaxial laser cladding processing conditions, Surface and Coatings Technology 197 (2005), pp. 127-136.
- 6. Xiaolei Wu, In situ formation by laser cladding of a TiC composite coating with a gradient distribution. Surface and Coatings Technology 115 (1999), pp. 111–115.
- F. Moures, E. Cicalã, P. Sallamand, D. Grevey, B. Vannes and S. Ignat, Optimisation of refractory coatings realised with cored wire addition using a highpower diode laser. Surface and Coatings Technology, v. 200, Issue 7, 21 December 2005, pp. 2283-2292.

electronic scientific and technical periodical SCIENCE and EDUCATION EL Nº FS 77 - 30569. Nº0421100025. ISSN 1994-0408

Laser cladding application for elimination of defects on titanium-alloy samples

77-30569/330149

03, March 2012 Popova E.V., Tarasova T.V., Smurov I.Yu., Sarbaev B.S.

> Bauman Moscow State Technical University <u>keitpoulet@gmail.com</u> <u>tarasova952@mail.ru</u>

Experimental studies of bond strength using the standard method of GOST1497-84 on titanium alloy specimens (Ti6Al4V) were conducted. The crack was simulated on the samples, then it was cladded using laser treatment and determined the destructive load for each sample. According to test results the optimal cladding parameters were chosen so that mechanical properties of the specimen with a cladded crack practically did not differ from the intact sample (the value of the destructive load for cladded sample was Pmax = 62,8 kN, while for the intact sample Pmax = 63 kN). Failure occured far from the cladded area.

Publications with keywords: <u>titanium alloys</u>, <u>laser cladding</u>, <u>tensile tests</u> Publications with words: <u>titanium alloys</u>, <u>laser cladding</u>, <u>tensile tests</u>

References

1. Smurov I. Laser cladding and laser assisted direct manufacturing. *Surface and Coatings Technology*, 2008, vol. 202, no. 18, pp. 4496-4502. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2008.04.033

2. Ion J.C. *Laser processing of engineering materials: Principles, procedure, and industrial application.* Amsterdam, Elsevier, 2005. 556 p.

3. Steen W.M. Laser material processing. 3rd Ed. Berlin, Springer, 2003. 408 p.

4. Toyserkani E., Khajepour A., Corbin S. *Laser cladding*. Boca Raton, CRS Press, 2005. 280 p.

5. de Oliveira U., Ocelik V., De Hosson J.Th.M. Analysis of coaxial laser cladding processing conditions. *Surface and Coatings Technology*, 2005, vol. 197, no. 2-3, pp. 127-136. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2004.06.029.

6. Wu X. In situ formation by laser cladding of a TiC composite coating with a gradient distribution. *Surface and Coatings Technology*, 1999, vol. 115, no. 2-3, pp. 111-115. DOI: 10.1016/S0257-8972(99)00045-6.

7. Moures F., Cicala E., Sallamand P., Grevey D., Vannes B., Ignat S. Optimisation of refractory coatings realised with cored wire addition using a high-power diode laser. *Surface and Coatings Technology*, 2005, vol. 200, no. 7, pp. 2283-2292. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2004.10.135.