

Исследование процессов лазерного легирования поверхности алюминиевых сплавов

77-30569/330611

03, март 2012

Тарасова Т. В., Гвоздева Г. О.

УДК. 621.9.048

МГТУ им. Н.Э. Баумана

tarasova952@mail.ru

gvozdeva_go@mail.ru

Лазерная обработка поверхностей металлов и сплавов относится к локальным методам термической обработки. Благодаря высокой плотности мощности обеспечиваются высокие скорости нагрева и охлаждения (10^4 - 10^8 °C/c) и малое время воздействия излучения на обрабатываемую поверхность, поэтому при лазерной обработке наблюдается минимальное тепловое воздействие на обрабатываемую деталь и минимальное коробление детали. Отличительные особенности лазерного луча от других высококонцентрированных источников, таких как электронный луч или плазменная струя - это возможность его транспортировки на значительные расстояния и подвода в труднодоступные места, а также отсутствие динамического воздействия на обрабатываемую поверхность, что позволяет значительно расширить круг технологических операций по обработке различных деталей машин.

Тепловое воздействие при лазерной термообработке реализуется в широких пределах за счет изменения параметров лазерного излучения и режимов обработки. Это обеспечивает регулирование скоростей нагрева и охлаждения металла, время пребывания металла при высоких температурах, что позволяет получить требуемую структуру поверхностного участка и соответствующие свойства.

Технологические возможности лазерной обработки позволяют использовать этот процесс в качестве заключительной операции без последующей механической обработки. Причем, лазерное термоупрочнение

отдельных участков можно проводить после сборки конструкции или узла машины.

В настоящее время цветные сплавы (алюминиевые, медные, никелевые) широко используются в различных отраслях промышленности. Требования к технологическим свойствам этих сплавов (износостойкости, термостабильности, прочности, коррозионной стойкости и др.) постоянно растут. Одним из методов повышения таких свойств является лазерное упрочнение поверхности материала. Наиболее широкое распространение в лазерном поверхностном упрочнении получили два процесса: термическая обработка и легирование.

Об исследовании процессов лазерного легирования поверхности алюминиевых сплавов сообщается во многих публикациях [1-19], однако, в большинстве из них результаты анализируются при насыщении одним компонентом в достаточно узком интервале режимов обработки.

Цель данной статьи – анализ научной информации о проведенных экспериментах в области лазерного легирования поверхности алюминиевых сплавов различными компонентами в широком интервале режимов обработки лазерами разных типов.

Алюминий и сплавы на его основе обладают такими важными для лазерной обработки особенностями как высокая теплопроводность, большая отражательная способность поверхности, относительно низкие температуры плавления. Поэтому особенностью лазерной обработки алюминия и сплавов на его основе является повышенная критическая плотность мощности лазерного излучения (при фиксированном диаметре лазерного пятна - критическая мощность), при которой начинается оплавление поверхности. В некоторых экспериментальных работах для непрерывных CO₂-лазеров для чистых металлов эта критическая мощность оценивается на уровне 1-1,2 кВт, для сплавов она несколько ниже. Практика показала, что при оплавлении непрерывными CO₂-лазерами мощностью менее 1 кВт поверхности алюминиевых сплавов с нанесенной обмазкой, содержащей порошки чистых металлов, не удастся осуществить легирование и наплавку, отдельные частицы могут внедряться в расплавленную ванну, однако качество легированных полос неудовлетворительное.

Вторая особенность легирования алюминиевых сплавов вытекает из большого различия в температурах плавления подложки и большинства легирующих компонентов. В связи с этим при легировании порошками с высокой температурой плавления при невысоком энергокладе довольно часто имеет место неполное растворение и неполное перемешивание присадочных компонентов в легированных зонах.

Алюминиевые сплавы обычно легируют отдельными неметаллическими (Si, B) и металлическими (Fe, Ni, Cr, Co и др.) компонентами, сплавами и смесями этих компонентов, а также различными соединениями [1-8].

Лазерное легирование алюминиевых сплавов неметаллическими компонентами.

Чаще всего в качестве неметаллического компонента для легирования алюминиевых сплавов выбирается кремний, при этом насыщение поверхности идет достаточно интенсивно, тогда как при легировании бором процесс не отличается достаточной стабильностью. При легировании кремнием представляется возможным на поверхности доэвтектических сплавов получить заэвтектическую структуру, что сопровождается появлением первичных выделений кремния и повышением твердости поверхности. В работе [9] такие структурные изменения наблюдали на ковочном сплаве АК-4 после обработки его непрерывным CO₂-лазером, где глубина легированных зон составляла 0,71-1,5 мм, ширина 2,3-3 мм, а микротвердость - $H = 350-450$. При лазерном легировании доэвтектического алюминиевого сплава с подачей порошка кремния в зону обработки кремний полностью растворяться не успевает и только после повторного оплавления легированной поверхности (без подачи порошка кремния) в зоне обработки формируется мелкодисперсная заэвтектическая структура.

Лазерное легирование алюминиевых сплавов металлическими компонентами.

Исследование микроструктуры алюминиевого литейного сплава АЛ30 после легирования его поверхности порошками Fe, Ni и сплава системы Ni-Cr-B-Si с помощью излучения непрерывного лазера мощностью до 5 кВт показало, что легирующие элементы по легированной зоне распределены неравномерно и, в общем случае, имеет место образование трех участков или трех слоев [7]. Первый слой, расположенный в центральной части легированной зоны возле

самой поверхности имеет наибольшую концентрацию вводимых компонентов, структура здесь представляет собой твердый раствор и интерметаллидные фазы. При легировании железом интерметаллидная фаза представляет собой FeAl_3 , при легировании никелем и сплавом Ni-Cr-B-Si - NiAl_3 , $\text{Al}_6\text{Cu}_3\text{Ni}$, Ni_2Al_3 . Интерметаллидные фазы с избытком алюминия NiAl_3 и Ni_2Al_3 , а также NiAl зафиксированы и в работе [10] при легировании поверхности сплава АМг6 непрерывным CO_2 -лазером с инъекцией порошка никеля в зону воздействия. Кроме того, при легировании никелевым сплавом в легированных зонах зафиксированы карбиды хрома и бориды, имеющиеся в исходном порошковом сплаве. Микротвердость здесь отличается большим разбросом (табл. 1).

Таблица 1

Размеры и микротвердость легированных зон сплава АЛ30

Материал подложки, вид обработки	Легирующие компоненты	Глубина легированного слоя, мм	Микротвердость, Н		
			Первый слой	Второй слой	Третий слой
АЛ30, без сканирования	Fe	1,2-1,3	223-836	270-402	172-195
	Ni	0,9-1,0	213-609	172-301	146-195
	ПГ-СРЗ	1,2-1,5	213-609	223-318	146-203
АЛ4, без сканирования	ПГ-СРЗ	2,7-3,3	-	196-270	141-203
АЛ4, со сканированием	ПГ-СРЗ	1,85-2,3	-	185-234	152-195
АЛ4, со сканированием	SiC	1,85-2,4	-	-	151-176

Во всех случаях при лазерном легировании алюминиевого сплава никелем и никелевым сплавом легированная зона имеет более однородное строение, чем при легировании железом, а интерметаллиды имеют более глобулярную форму.

Во втором слое концентрация вводимых компонентов несколько меньше, интерметаллиды мельче, а микротвердость имеет меньший разброс, чем в первом слое. В третьем слое, который расположен на границе с нерасплавленным металлом, интерметаллидов практически нет, структура и микротвердость близка к структуре сплава после лазерной обработки без легирования.

В случае легирования с оплавлением порошковых паст, приготовленных на цапонлаке или на смеси окиси цинка с грунтовкой, в зоне оплавления имеются

поры, иногда наблюдался выброс металла. По сравнению с легированием при инъекции порошка интерметаллидных включений больше, особенно игольчатых, и они имеют большие размеры.

Структура сплава АЛ4 после легирования порошком ПГ-СРЗ (ПГ-СРЗ – самофлюсующийся сплав, относится к сплавам системы Ni-Cr-B-Si на основе Ni, характеризуется следующим химическим составом: С- 0,4...0,7 %, Cr- 13,5...16,5 %, Si-2,5...3,5 %, В- 2,0...2,8 %, Fe-5 %) аналогична сплаву АЛ3О, как при обработке со сканированием, так и без сканирования луча поперек направления перемещения. Обработка со сканированием позволяет увеличить ширину легированных зон до 10-20 мм при такой же практически глубине, при этом в структуре легированных зон уменьшается количество крупных нерастворившихся включений. Первый слой, как правило, при этом отсутствует. Значения твердости при обработке со сканированием выравниваются и понижаются (табл. 1).

В работе [11] при легировании сплавов АЛ25 и Д16 Ni, Cr и дисилицидом молибдена с оплавлением насыщающих обмазок импульсным лазером "Квант-16" и непрерывным CO₂-лазером "Комета-1" получены достаточно высокие значения микротвердости: H = 500-600.

При этом в легированных зонах глубиной 400-450 мкм микротвердость распределена достаточно равномерно за исключением зон, легированных дисилицидом молибдена, где наблюдалось образование слаботравящихся зон с микротвердостью H = 650 и зон с повышенной травимостью с микротвердостью H = 400. Повышение твердости обусловлено образованием пересыщенных твердых растворов, формированием высокодисперсной структуры и выделением интерметаллидных фаз: при легировании Cr - CrAl₇, Cr₂Al₁₁, Cr₃Al₂, при легировании Ni - NiAl₃, Ni₂Al₃, а при легировании дисилицидом ниобия - NbAl₃, Nb₃Al, Nb₂Al.

При введении в алюминиевый сплав АЛ25 при импульсном легировании Fe, Ni, Mn, Cu микротвердость зон лазерного воздействия также повышается и составляет при легировании Fe – H = 350, Ni – H = 220, Mn – H = 218 (микротвердость неупрочненного термообработкой сплава АЛ25 H = 85 и упрочненного H = 100). При этом для устранения трещино- и порообразования количество вводимых элементов нужно ограничить: Mn и Cu - до 10-12 %, а Fe и

Ni – до 5-6 %. Для снятия термических напряжений в поверхностных слоях рекомендуется проводить искусственное старение при температуре 250 °C 24 часа, наибольшая твердость поверхности после старения получена после совместного легирования смесями Fe+Mn и Cu+Mn. Жаропрочность сплава после легирования железом возрастает в 4,5 раза, а после легирования смесью Ni+Mn - в 2,8 раза [12]. Однако, в работе [13] отмечается, что при легировании алюминиевых сплавов сплавами на основе железа в зависимости от установленных параметров могут встречаться два типа покрытия. В первом случае наблюдается гомогенная ванна расплава, где железосодержащий легирующий элемент легирует алюминиевую матрицу. При увеличении железосодержания в покрытии растет доля Fe_xAl_y -фаз, появление которых сопровождается охрупчиванием покрытия и образованием сети трещин. При образовании покрытия по механизму второго типа наблюдается формирование двух разделенных ванн расплава. Железный расплав при этом вследствие различия в плотности погружается в алюминиевую матрицу. Разница в температуре плавления вызывает двухступенчатое затвердевание. Первым затвердевает железный сплав и только после этого лежащий ниже алюминиевый субстрат. Образующиеся в переходной зоне напряжения ведут к образованию трещин.

В работе [9] при легировании алюминиевого сплава АК-4 непрерывным лазером металлическими компонентами получена значительно большая микротвердость: $H = 500-850$ при легировании Ni (глубина зон 0,71-1,5 мм) и $H = 400-1070$ при легировании Cr (глубина зон 1,4-2,3 мм). Отмечено, что легированный хромом слой отличается повышенной хрупкостью, имеет трещины и сколы.

При легировании алюминия цинком в легированной зоне цинк распределяется только в верхних слоях [14]. В работе [1] показано, что при легировании алюминия и его сплавов Д16, АМ16, АЛ9, АК4-1 титаном, феррованадием и смесью Co+Cu в легированных зонах кроме твердого раствора образуются интерметаллиды $TiFe_3$, $CoAl$, Co_4Al_3 , $FeAl_3$, VAI_3 . В табл. 2 приведены параметры легированных непрерывным лазером зон на поверхности сплавов АЛ25 и АЛ30, полученные в работе [15]. В результате легирования твердость по Виккерсу увеличилась на 300 единиц по сравнению с исходным

сплавом ($HV = 81-89$) и в среднем на 200 единиц по сравнению с лазерным оплавлением без легирования ($HV = 122-127$).

Лазерное легирование алюминиевых сплавов металлическими компонентами, их смесями и сплавами приводит к повышению эксплуатационных характеристик поверхности. В работе [16] после оплавления непрерывным CO_2 -лазером при плотности мощности 10^3-10^4 Вт/см² и скорости 0,1-0,5 м/мин поверхности сплава АЛ25 с нанесенной обмазкой с порошками NiCr, FeCuB, NiCrMo в легированных зонах получили не очень высокие значения микротвердости: $H = 105-150$ при исходной микротвердости твердого раствора $H = 60-65$ и эвтектики $H = 70-80$. Концентрация легирующих элементов тоже невелика и находилась в пределах 1-2 %.

Формирующиеся включения фаз на базе Ni и Fe имели игольчатую форму, а на базе Cr и Cu - округлую. Наибольшую горячую твердость при температуре 270 °С (как и при комнатной температуре) имели образцы, легированные NiCrMo и NiCr. Стендовые испытания поршней двигателя УМЗ-414М с легированными в области верхней поршневой канавки участками показали повышение стойкости в 3-3,5 раза по сравнению с обычными поршнями.

Таблица 2

Микротвердость легированных зон на поверхности силуминов АЛ25 и АЛ30 при оптимальных режимах лазерной обработки [15]

Легирующие композиции	Режимы лазерной обработки		Твердость и микротвердость	
	Р, кВт	v, м/мин	HV зоны	H участков
Fe	1,7	0,3	152-208	700
Fe+B	1,7	0,3	295-317	700
Fe+Cu	2,2	0,22	129-185	269-280
Fe+Cu+B	2	0,3	234-260	
ПН-ХН80С2Р2	2	0,15	160-180	225-296
ПН-С2Р2+Fe+Cu	2	0,15	160-180	220-280

В работе [17] показано, что лазерное легирование сплавов АЛ25 и Д16 хромом и никелем приводит к снижению коэффициента трения по закаленной стали 45 примерно в 3 раза по сравнению с исходным сплавом, причем наилучшие значения коэффициента трения получены при коэффициенте заполнения поверхности областями легирования 0,6. Лазерное легирование

силуминов АЛ25 и АЛ30 смесями порошков Fe, Cu, Cr, В и никелевого сплава позволило увеличить износостойкость в условиях, когда лазерное оплавление поверхности без легирования не приводило к увеличению износостойкости, причем наибольшее повышение получено при легировании никелевым сплавом ПН-ХН80С2Р2 [15]. Износостойкость в условиях трения со смазкой при нагрузках 0,5-6 кг/мм² после лазерного легирования сплава АЛ25 повышается в 4-5 раз по сравнению с исходным состоянием, при снижении относительной величины микропластической деформации от 84 до 51 % [18].

После лазерного легирования сплава АЛ30 железом, никелем и сплавом ПГ-СР3 по режимам: Р=4 кВт, V=10 мм/с, проводилось старение при температурах 150...350 °С. При температуре старения 150 и 200 °С твердость образцов, легированных никелем и никелевым сплавом, в течение 24 часов непрерывно увеличивается. При температуре 250 °С во всех случаях микротвердость сначала возрастает, а затем уменьшается. При температурах 300 и 350 °С с увеличением длительности нагрева происходит, в основном, понижение микротвердости, однако, она остается на более высоком уровне по сравнению с лазерной обработкой без легирования. Наибольшей теплостойкостью, при температурах 150, 200, 250, 300 °С обладает сплав АЛ30, легированный порошком ПГ-СР3.

Легирование алюминиевых сплавов соединениями.

При легировании алюминиевых сплавов тугоплавкими соединениями (карбидами, нитридами, боридами) оплавлением поверхности лазерами невысокой мощности (менее 1 кВт) наблюдается плохое перемешивание вводимых компонентов с расплавленной подложкой, вследствие чего имеет место плохая адгезия легированных зон с основой, и легированные зоны могут скалываться. Отличием легирования алюминиевых сплавов карбидами является отсутствие растворения карбидов и уменьшение трещинообразования [12]. Слои могут содержать по объему до 50 % частиц TiC. Вдувание порошка TiC в зону воздействия излучением непрерывного CO₂-лазера мощностью 5 кВт приводило к снижению критической плотности мощности, необходимой для начала оплавления алюминиевой поверхности, что объясняется более высоким коэффициентом поглощения излучения частицами карбидов. При инъекции порошка TiC в процессе оплавления поверхности алюминиевого сплава АМг6 непрерывным CO₂-лазером

микротвердость в легированных зонах не изменялась, тогда как при подаче порошков TiC, плакированных Ni, микротвердость увеличивалась до $H = 700-900$ и в легированных зонах обнаруживались карбиды и фазы $NiAl_3$ и $NiAl$ [10]. Однако, следует учесть, что при лазерном легировании TiC, плакированным Ni, на легированной поверхности после шлифования обнаруживались поры, в основном, в зонах перекрытия лазерных полос, что значительно ухудшает качество обработки. При инъекции карбидных порошков для осуществления легирования сплава АД33 толщина легированного слоя намного меньше глубины расплавленной ванны из-за плохого перемешивания расплава.

В работе [9] показано, что в случае легирования сплава АК-4 порошками различных соединений с использованием непрерывного CO_2 -лазера наибольшая микротвердость получена при легировании карбидами (Ti,Cr)C: $H = 350$ (глубина зон 0,6-0,78 мм). Для порошков TiC и FeSi глубина и микротвердость составила 0,7-1,3 мм и $H = 280-295$, а для порошков CrB получена наименьшая микротвердость $H = 140-160$ при глубине 2,2 мм. В результате лазерного легирования поверхности алюминия Cr, Ni, Fe или Ti и последующего повторного лазерного легирования образовавшегося слоя бором или карбидом бора в структуре поверхностного слоя наблюдается образование боридов, что обуславливает высокую твердость и износостойкость.

Микроструктура сплава АЛ4 после легирования порошком SiC имеет заметные отличия, в ее составе отсутствуют интерметаллиды, имеется лишь сильное измельчение зерен твердого раствора до размера эвтектики. При обработке со сканированием структура укрупняется, здесь уже можно различить первичные кристаллы твердого раствора и количество эвтектики увеличивается по сравнению с исходной структурой. При этом легированная зона достаточно однородна, состоит из одного слоя. Микротвердость в легированной зоне ниже, чем после легирования никелевым порошком ПГ-СРЗ и находится в интервале $H = 151-176$ (табл. 2).

Интересные данные получены в работе [13] при использовании в качестве легирующего компонента карбида вольфрама, в этом случае может быть изготовлен композиционный материал, представляющий собой алюминиевую матрицу, армированную карбидными твердыми включениями. Варьируя подводимую энергию и скорость подачи порошка, можно получить различные типы покрытий. При низкой скорости подачи порошка и высоких значениях

подводимой энергии частички карбидов вследствие разности плотностей формируют конвекционный поток в алюминиевом расплаве и распределяются равномерно. С увеличением скорости подачи порошка ванна расплава начинает застывать при попадании карбидных частиц. При этом твердые частицы оказываются локально запертыми, располагаясь над слоем алюминия, содержащим низкое количество карбидных частиц. При высокой скорости подачи порошка наблюдается формирование компактного слоя вольфрама и промежуточного слоя из алюминия с дисперсным карбидом. В последнем случае вдоль промежуточного слоя при затвердевании формируются трещины, в первых двух вариантах трещины не наблюдаются.

Процесс легирования алюминиевых сплавов легкоплавкими соединениями (силицидами, сульфидами) идет достаточно интенсивно, с хорошим перемешиванием и с равномерно распределенными по легированной зоне избыточными фазами. В работе [11] показано, что при лазерном легировании сплавов АЛ25 и Д16 хромом, никелем и дисульфидом молибдена наилучшие фрикционные характеристики при трении по закаленной стали 45 получены при легировании дисилицидом молибдена, хотя при всех компонентах величины коэффициента трения имеет примерно один порядок величин. Наименьшие значения коэффициентов трения (0,08-0,15) получены при коэффициенте заполнения поверхности, определяющем соотношение площадей упрочненной и неупрочненной поверхности, равном 0,6.

В последние годы вырос интерес к использованию лазерного легирования деталей машиностроительного производства, изготовленных из алюминиевых сплавов. В работе [19] показано, что для оптимизации структуры и свойств рабочих поверхностей двигателей из алюминиевых сплавов наибольшими преимуществами по сравнению с другими методами обработки обладает лазерное легирование.

Выводы

1. Лазерное легирование алюминиевых сплавов металлическими компонентами, их смесями и сплавами приводит к повышению эксплуатационных характеристик поверхности.
2. Отличительной особенностью формирования структуры легированных зон алюминиевых сплавов является большая пересыщенность твердого

раствора, значительно превосходящая растворимость в равновесных условиях, а также образование интерметаллидов.

3. Анализ научной информации о проведенных экспериментах показывает, что существует реальная возможность лазерного упрочнения алюминиевых сплавов, изменяя параметры обработки поверхности импульсным или непрерывным излучением лазера, можно управлять характеристиками легированных зон: размерами, концентрацией насыщаемых элементов, структурой и микротвердостью.

Литература

1. Александров В.Д. Поверхностное упрочнение алюминиевых сплавов. М.: Техполиграфцентр, 2002. 337 с.
2. Сафонов А.Н., Тарасова Т.В. Процессы лазерного легирования сталей неметаллическими компонентами // Вестник МГТУ. Машиностроение. - 1997. -N.2. -С.68-77
3. Tarassova T.V., Laser Alloying of Aluminium Alloys. 12th Advanced Materials and Processes Conference and Exposition. California, USA, 2001.
4. Григорьянц А.Г., Сафонов А.Н. Методы поверхностной лазерной обработки. М.: Высшая школа, 1987. 191 с.
5. Тарасова Т.В., Шиганов И.Н. Исследование микроструктуры и свойств алюминиевых и никелевых сплавов после лазерной обработки // Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред: Тез. докл. XII междунар. симпозиума. Москва, 2006. С. 297-298.
6. Шиганов И.Н., Шахов С. В. Лазерная сварка современных конструкционных материалов // Сварка Урала-2003: Докл. 22 Научно-техн. Конф. Сварщиков Уральского региона, посвященная 100-летию юбилею академика Н.Н. Рыкалина. Киров, 2003. С. 17-18.
7. Тарасова Т.В., Сайдумаров К.В., Кривушина О.А. Разработка научных основ процессов лазерного модифицирования поверхности сталей и

- сплавов // Труды регионального конкурса научных проектов в области естественных наук. Калуга. 2008. №9. С. 371-382.
8. Гвоздева Г.О., Тарасова Т.В. Перспективы использования высококонцентрированных источников энергии для повышения коррозионной стойкости алюминиевых сплавов. // Материалы XVII международного симпозиума "Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред. М.: МАИ, 2011. -213 с.
 9. Лазерное упрочнение алюминиевого сплава АК-4 на установке ЛТ1-2 / Всеволодов Б.А. [и др.] // Применение лазеров в народном хозяйстве: Тез. Всес. конф. Звенигород, 1985. С. 95-96.
 10. Упрочнение поверхностей деформируемых алюминиевых сплавов АМг6 и АД33 с помощью лазера / Вишневецкая И.А. [и др.] // Повышение надежности и долговечности материалов и деталей машин на основе новых методов термической и химико-термической обработки: Тез. докл. Всес. научно-тезн. конф. Хмельницкий, 1988. С. 135-136.
 11. Модель механизма образования гетерофазной структуры в зоне легирования под воздействием концентрированного потока энергии / Коган Я.Д. [и др.] // Применение ЭВМ в металловедении и металлообработке: Сб. науч. тр. – М.: МАДИ, 1986. С.130-140.
 12. Износостойкие лазерные покрытия из безвольфрамовых порошковых материалов / Коваленко В.С. [и др.] // Wear-resistant laser coating of tungsten-free powder materials: Сб. докладов. – Дом техники CSVTS Прага. Т.2. – С. 226-232.
 13. Heigl, R.: Получение покрытий на алюминиевых сплавах с помощью лазерного излучения. Herstellung von Randschichten auf Aluminiumgusslegierungen mittels Laserstrahlung: Dissertation. Munchen, 2005. 176 с.
 14. Упрочнение деталей лучом лазера / Коваленко В.С. [и др.] - Киев.:Техника,1981. 131 с.

- 15.Лазерное легирование силуминов / Гречин А.Н. [и др.] // Обработка материалов высококонцентрированными источниками энергии:Тез. докл. зон. конф. Пенза,1988. С. 77-78.
- 16.Боголюбова И.В., Дериглазова И.Ф., Мутьченко Б.Ф. Лазерное поверхностное легирование сплава АЛ25 // Металловедение и термическая обработка металлов,1988. -N.5. -С. 24-25.
- 17.Коган Я.Д., Сазонова З.С., Александров В.Д. Исследование антифрикционных свойств покрытий на алюминиевых сплавах после лазерного легирования // Электронная обработка материалов,1990. -N.4. -С. 73-74.
- 18.Физико-механические свойства алюминиевого сплава после лазерного легирования / Александров В.Д. [и др.] // Повышение надежности и долговечности материалов и деталей машин на основе новых методов термической и химико-термической обработки: Тез. докл. Всес. научно-техн. конф. Хмельницкий, 1988. С. 135-136.
- 19.Lensch Gunter, Bady Torsten, Bohling Michael. Легирование рабочей поверхности двигателей из алюминиевых сплавов с использованием лазера. Laserlegieren der Laufflachen von Aluminium-Motoren. Hanser Fachz. - 1999, N 2, Suppl.: Laser-Praxis. - С. 12-13.

Investigation of the processes of laser doping of aluminum alloy surfaces

77-30569/330611

03, March 2012

Tarasova T.V., Gvozdeva G.O.

Bauman Moscow State Technical University

tarasova952@mail.ru

gvozdeva_go@mail.ru

This paper presents an analysis of scientific information on the experiments carried out in the field of laser doping of aluminum alloy surfaces with various components in a wide range of treatment modes with different types of lasers. The authors analyzed laser alloying of aluminum alloys with non-metallic components, laser alloying of aluminum alloys with metallic components and laser alloying of aluminum alloy with compounds. It was found that laser alloying of aluminum alloy with metal components, their mixtures and alloys increases surface performance. A distinctive feature of the structure formation of doped zones of aluminum alloys is high saturation of solid solution which exceeds solubility under equilibrium conditions as well as formation of intermetallic compounds. It is shown that there is a real possibility of laser hardening of aluminum alloys: by changing the parameters of the surface treatment with a pulsed or continuous laser beam one can control the characteristics of doped zones, such as size, concentration, saturation components, structure, and microhardness.

Publications with keywords: [aluminium](#), [laser treatment](#), [aluminium alloys](#), [laser alloying](#), [laser cladding](#)

Publications with words: [aluminium](#), [laser treatment](#), [aluminium alloys](#), [laser alloying](#), [laser cladding](#)

References

1. Aleksandrov V.D. *Poverkhnostnoe uprochnenie aluminievyykh splavov* [Surface hardening of aluminum alloys]. Moscow, Tekhpoltorgsentr Publ., 2002. 337 p.
2. Safonov A.N., Tarasova T.V. Protsessy lazernogo legirovaniia stalei nemetallicheskimmi komponentami [The processes of laser alloying of steel by nonmetallic components]. *Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Ser. Mashinostroenie* [Herald of the Bauman MSTU. Ser. Mechanical Engineering], 1997, no. 2, pp. 68-77.
3. Tarasova T.V. Laser Alloying of Aluminium Alloys. *12th Annual Advanced Aerospace Materials and Processes Conf. and Expos. (AeroMat-2001)*. Long Beach, CA, June 11-14, 2001.
4. Grigor'iants A.G., Safonov A.N. *Metody poverkhnostnoi lazernoi obrabotki* [Methods of surface laser treatment]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1987. 191 p.

5. Tarasova T.V., Shiganov I.N. Issledovanie mikrostruktury i svoystv aliuminievykh i nikel'nykh splavov posle lazernoi obrabotki [The study of microstructure and properties of aluminum and nickel alloys after laser treatment]. *"Dinamicheskie i tekhnologicheskie problemy mekhaniki konstruktssii i sploshnykh sred"*. 12 Mezhdunar. simp. Tez. dokl. ["Dynamic and technological problems of the mechanics of structures and continuous media". 12th Int. symp. Abstr.]. Moscow, 2006, pp. 297-298.
6. Shiganov I.N., Shakhov S.V. Lazernaia svarka sovremennykh konstruktssionnykh materialov [Laser welding of advanced structural materials]. 22 Nauch.-tekhn. konf. svarshchikov Ural'skogo regiona (Svarka Urala-2003) [22nd Sci-tech. conf. of the Urals region welders (Welding in the Urals-2003)]. Kirov, 2003, pp. 17-18.
7. Tarasova T.V., Saidumarov K.V., Krivushina O.A. Razrabotka nauchnykh osnov protsessov lazernogo modifitsirovaniia poverkhnosti stalei i splavov [Development of scientific principles of laser surface modification of steels and alloys]. *Trudy region. konkursa nauch. proektov v oblasti estestvennykh nauk* [Proc. reg. competition of scientific projects in the natural sciences], 2008, no. 9, pp. 371-382.
8. Gvozdeva G.O., Tarasova T.V. Perspektivy ispol'zovaniia vysokokontsentrirrovannykh istochnikov energii dlia povysheniia korrozionnoi stoikosti aliuminievykh splavov [Prospects for the use of highly concentrated energy sources to improve the corrosion resistance of aluminum alloys]. *"Dinamicheskie i tekhnologicheskie problemy mekhaniki konstruktssii i sploshnykh sred"*. Mat. 17 Mezhdunar. simp. ["Dynamic and technological problems of the mechanics of structures and continuous media". Proc. 17th Int. symp.]. Moscow, MAI Publ., 2011, p. 213.
9. Vsevolodov B.A., e.a. Lazernoe uprochnenie aliuminievogo splava AK-4 na ustanovke LT1-2 [Laser hardening of AK-4 aluminum alloy on the installation LT1-2]. *Primenenie lazerov v narodnom khoziaistve. Vses. konf. Tez.* [Use of lasers in the national economy. All-Union conf. Abstr.]. Zvenigorod, 1985, pp. 95-96.
10. Vishnevetskaia I.A., e.a. Uprochnenie poverkhnostei deformiruemykh aliuminievykh splavov AMg6 i AD33 s pomoshch'iu lazera [Hardening of the surfaces of deformable aluminum alloys AMg6 and AD33 using laser]. *"Povyshenie nadezhnosti i dolgovechnosti materialov i detalei mashin na osnove novykh metodov termicheskoi i khimiko-termicheskoi obrabotki"*. Vses. nauch.-tekhn. konf. Tez. dokl. ["Increased reliability and durability of materials and machine parts, based on new methods of thermal and thermochemical treatment". All-Union sci.-tech. conf. Abstr.]. Khmel'nitskii, 1988, pp. 135-136.
11. Kogan Ia.D., Sazonova Z.S., Lobanov S.G., Aleksandrov V.D. Model' mekhanizma obrazovaniia geterofaznoi struktury v zone legirovaniia pod vozdviistviem kontsentrirrovannogo potoka energii [Model of the mechanism of heterophase structure formation in the area of doping under the influence of concentrated energy flow]. *Primenenie EVM v metallovedenii i metalloobrabotke* [The use of computers in the metallurgy and metal processing]. Moscow, MARC STU Publ., 1986, pp. 130-140.
12. Kovalenko V.S., e.a. Iznosostoikie lazernye pokrytiia iz bezvol'framovykh poroshkovykh materialov [Wear-resistant laser coating of tungsten-free powder materials]. Praha, vol. 2, pp. 226-232.

13. Heigl R. *Herstellung von Randschichten auf Aluminiumgusslegierungen mittels Laserstrahlung. Diss.* [Preparation of coatings on aluminum alloys by laser radiation. Diss.]. Munchen, Herbert Utz Verlag, 2005. 176 p.
14. Kovalenko V.S., Golovko L.F., Merkulov G.V., Strizhak A.I. *Uprochnenie detalei luchom lazera* [Hardening of components by laser beam]. Kiev, Tekhnika Publ., 1981. 131 p.
15. Grechin A.N., e.a. Lazernoe legirovanie siluminov [Laser alloying of silumins]. *Obrabotka materialov vysokokontsentrirovannymi istochnikami energii. Zon. konf. Tez. dokl.* [Processing of materials by highly concentrated sources of energy. Zonal conf. Abstr.]. Penza, 1988, pp. 77-78.
16. Bogoliubova I.V., Deriglazova I.F., Mul'chenko B.F. Lazernoe poverkhnostnoe legirovanie splava AL25 [Laser surface alloying of AL25 alloy]. *Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov* [Metallography and heat treatment of metals], 1988, no. 5, pp. 24-25.
17. Kogan Ia.D., Sazonova Z.S., Aleksandrov V.D. Issledovanie antifriktsionnykh svoystv pokrytii na aluminievykh splavakh posle lazernogo legirovaniia [Study of the antifriction properties of coatings on aluminum alloys after laser alloying]. *Elektronnaya obrabotka materialov* [Electronic materials processing], 1990, no. 4, pp. 73-74.
18. Aleksandrov V.D. Fiziko-mekhanicheskie svoystva aluminievogo splava posle lazernogo legirovaniia [Physical and mechanical properties of aluminum alloy after laser alloying]. *Povyshenie nadezhnosti i dolgovechnosti materialov i detalei mashin na osnove novykh metodov termicheskoi i khimiko-termicheskoi obrabotki. Vses. nauch.-tekhn. konf. Tez. dokl.* [Increased reliability and durability of materials and machine parts, based on new methods of thermal and thermochemical treatment. All-Union sci.-tech. conf. Abstr.]. Khmel'nitskii, 1988, pp. 135-136.
19. Lensch G., Bady T., Bohling M. Optiken zum legieren: Laserlegieren der laufflächen von aluminium-motoren. *Laser-Praxis*, 1999, no. 2, pp. 12-13.