



ОБРАБОТКА КОМБИНИРОВАННЫМИ МЕТОДАМИ

УДК 621.391.937.53

Г.Н. Соколов, С.Н. Цурская, В.Н. Лысяк, Е.И. Теслер (Белорусский ГТУ)

Структура и износостойкость наплавленного металла на основе алюминида никеля γ' -Ni₃Al, обработанного лазерным излучением*

Представлены результаты металлографических исследований и сканирующей высокотемпературной атомарной эмиссионной спектрометрией износостойкости наплавленного слоя металла, полученного электролитической наплавкой из никелевого изотермического сплава на основе алюминида никеля γ' -Ni₃Al с последующим облучением лазерным излучением.

Results metallographic explorations and scanning high-temperature mass of the superficial course received by electrolytic overlaying of thermobaric alloy aluminum of nickel γ' -Ni₃Al with subsequent wash a weld by laser radiation are presented.

Введение

Обработка рабочих участков деталей машин и инструментов лазерным излучением является одним из эффективных способов повышения их износостойкости за счет структурно-фазовых превращений в тонком поверхностном слое металла [1–3]. Вместе с тем процесс трансформации структуры при лазерном воздействии не всегда приводит к улучшению эксплуатационных свойств сплавов. Особенность это характерно для легированного наплавленного металла, содержащего большое количество углерода и активных карбидообразующих элементов [4].

К сложнолегированным сплавам относятся и новый тип жаропрочного металла на основе алюминида никеля γ' -Ni₃Al [5, 6]. Как известно [7, 8], макро- и микролегированные сплавы на основе Ni₃Al представляют собой уникальный класс износостойких и жаропрочных (до 1200 °C) материалов, сохраняющих благодаря сильной межкристаллической связи упрочченную структуру вплоть до температуры плавления. Но в наплавленном состоянии легированные алюминиды имеют выраженное дендритное строение с пересечениями выделениями карбидов, зернотек и других фаз, что влияет на пластичность металла при высокотемпературном нагружении и может способствовать образованию трещин, особенно в условиях резких тем-

пластен. В целях улучшения свойств нового материала исследовали влияние лазерной обработки на структуру и высокотемпературную износостойкость жаропрочного наплавленного металла с матрицей из легированного Ni₃Al.

Материалы и методика эксперимента

Исследования проводили на образцах, полученных электролитической наплавкой (ЭШН) с флюсом АНФ-6 в схемном кристаллизаторе (СК) с падающим графитовым электродом по двухконтурной схеме питания шлаковой шиной постоянным током [8], а также дуговой наплавкой в гелии. Режим ЭШН: напряжение и сила тока прямой поверхности составляли соответственно на шлаке в СК – 20 В и 150 А, с пологим электродом – 23 В и 200 А; расход охлаждающей воды в СК – 1,2 л/мин; поверхность шлака обдували аргоном. Режим дуговой наплавки: постоянный ток обратной полярности силой 40 А, напряжение на дуге 40 В, расход гелия 5 л/мин.

В качестве наплавляемого материала использовали порошковую проволоку (ПП) диаметром 5 мм, состоящую из двумяслойной оболочки, в которой наружный слой выполнен из никеля, а внутренний – из алюминия [6]. Под оболочкой расположены тонкие металлические проволоки из вольфрама, молибдена, ниобия, tantalа и смеси металлических порошков никеля, алюминия, циркония, а также бериллия молибдена и графита. Такая конструкция ПП обеспечивает равномерное распределение тока по ее сечению, что способствует синхронному плавлению на-

*Исследование выполнено в рамках научно-исследовательской работы по теме АД-3.17-544 Фундаментального агентства по образованию и науке по научной программе "Развитие научного потенциала высшей школы".



Рис. 1. Наплавленные ЭШН (слева) и дутовой наплавкой (справа) образцы с полированной поверхностью

помимо, оболочки и улучшает однородность наплавленного металла как при ЭШН, так и при дуговом процессе.

Массовая доля легирующих элементов в наплавленном металле составила, %: 2,5...3 W; 2,5...3 Mo; 1...1,5 Ta; 1...1,5 Zr; 3,5...4,5 Cr; 4...6 Fe; 0,035...0,04 В; 0,5...0,7 С; Al в Ni в стехиометрическом соотношении — осталось.

Лазерное наплавление образцов (рис. 1) осуществляли с помощью непрерывного CO₂-лазера на установке "Комета-2" с перекрытием наплавленных участков.

Микроструктуру металла исследовали на шариковом (Оптира-НХ-1) и оптическом (МИМ-9) микроскопах, а его фазовый состав определяли рентгеноструктурным анализом в медных Cu₂₀-излучениях на дифрактометре ДРОН-ЗМ со скоростью сканирования счетчика 1"/мин и диапазоне углов отражения 2θ = 20...120°. Оценку износостойкости наплавленных образцов проводили методом высокоскоростного склерометрирования при 850...1050 °C. В качестве критерия износостойкости использовали величину K, пропорциональную объему металла, деформированного конусным алмазным индентором при нагруз-

ке 0,6 Н и скорости перемещения испытуемого образца 4 мм/с [9].

Для металлографических и склерометрических испытаний использовали образцы с полированной поверхностью.

Результаты эксперимента и их обсуждение

Металлографическими исследованиями установлено, что наплавленный электрошлаковым способом (рис. 2, а и б) металл имеет крупнокристаллическую структуру (размер зерен 40...50 мкм). В дендритообразном твердом растворе на основе γ'-Ni₃Al содержатся карбиды Ta₂C и мелкодисперсные интерметаллиды (к-фазы), имеющие состав CrNiMoZr. Междендритные участки заполнены преимущественно карбидами WC, Mo₂C, Ta₂C, Cr₂C и к-фазой. Там же равномерно расположены вязкий неупорядоченный γ-твердый раствор алюминия в никеле, а также γ'-фазы.

Крупное зерно и птерогенную структуру имеет и метал, наплавленный дутовым способом (рис. 2, в и г).

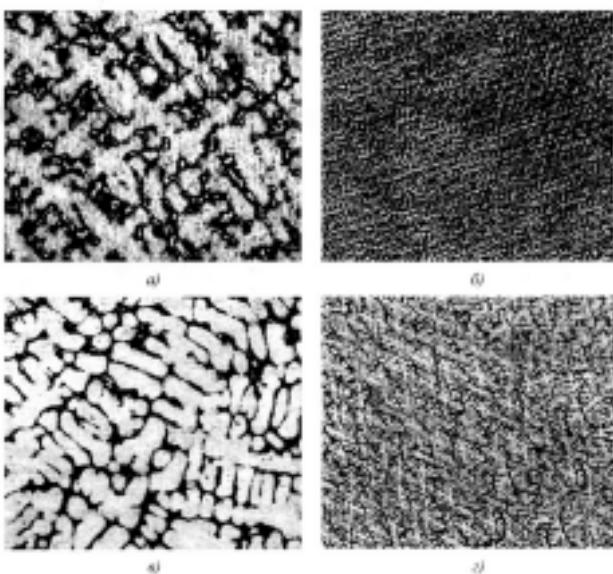


Рис. 2. Структура (-500) наплавленного металла (а, б) и наплавленного покрытия слоя (в, г): а, в — ЭШН; с, г — дутовая наплавка

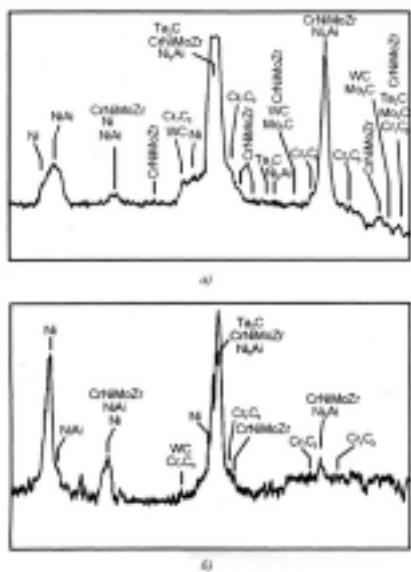


Рис. 3. Рентгенограммы наплавленного ЭШН металла (а) и наплавленной поверхности слоя (б)

Однако его химический состав и содержание упрочняющих фаз иные, чем при ЭШН. В нем меньше карбидов эвтектического типа, отсутствует низкая γ -фаза и интерметаллиды Ni₃Al и CrNiMo₂Zr, что связано с более жесткими термомеханическими циклами дуговой наплавки, а также с повышенной долей железа в наплавленном металле за счет большего проплавления стальной основы. Твердость слоя в этом случае при нормальной температуре довольно высока — около 3000 МПа, а микротвердость его матрицы составляет 7500...8000 МПа, что почти в 2 раза больше, чем металла, полученного при ЭШН. Увеличение твердости слоя может быть объяснено повышенным содержанием железа, полифриама, молибдена и tantalа в его матрице. В условиях достаточно длительного термического цикла ЭШН обеспечивается качественная металлокерамическая обработка расплава, а при его кристаллизации из легированного твердого раствора γ' -Ni₃Al успевает выделяться κ -фаза, что приводит к уменьшению твердости до 3000...3500 МПа и положительно влияет на термическую стойкость материала.

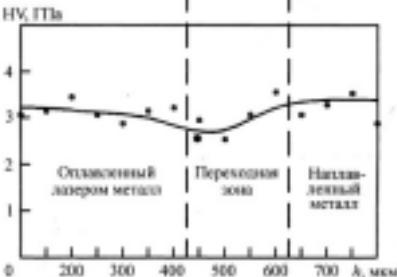


Рис. 4. Сечение (вид углом 45°, $\times 300$) образца наплавленного металла после обработки лазером и изменение его твердости по сечению

В результате воздействия на поверхность образцов лазерного излучения структура наплавленных как ЭШН, так и дуговым способом сплавов становится ямкодисперсионной с размером зерен 0,8...1 мкм (см. рис. 2, б и 4). Дендритная структура не наблюдается, а карбидная эвтектика раздроблена и равномерно распределена в металле. Все это может способствовать повышению его сопротивления усталости при циклическом температурно-цикловом воздействии. Фазовый состав металла в наплавленном тонком слое изменяется незначительно (рис. 3). Карбиды тугоплавких элементов растворяются. Молибден и частично вольфрам легируют матрицу металла, а хром связывает углерод в карбиды типа Cr_3C_2 , выделяющиеся по границам мелких зерен.

При исследовании углового (45°) сечения шлифа наплавленного образца выделена довольно широкая (150...200 мкм) зона, в структуре которой нет карбидной эвтектики и по этой причине твердость металла в ней ниже (рис. 4). Наличие такой сравнительно мягкой прослойки между наплавленным металлом и обработанной лазером его поверхностью, как правило, не ухудшает эксплуатационные свойства полученной композиции. Образование переходной зоны обусловлено повторным термическим воздействием на металл при многопроходном наплавлении.

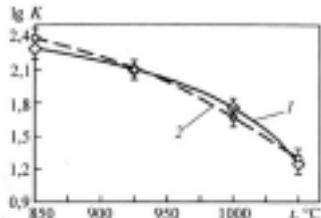


Рис. 5. Влияние температуры испытаний на критерий износостойкости K наплавленного ЭШП металла (1) и наплавленного лазером его поверхностного слоя (2)

Результаты склерометрических испытаний показывают (рис. 5), что обработка поверхности наплавленного сплава на основе лазерованного алюминида γ -NiAl лазером не влияет на его высокотемпературную износостойкость. Это свидетельствует о том, что износостойкость сплавов подобного типа при температурах до $1000\text{--}1100$ °C определяется преимущественно замедленной диффузионной подвижностью атомов их основы и локализации зонетов в условиях как кратковременного, так и длительного термического нагружения, т.е. диффузионных факторов. Структурный фактор, обуславливающий, в частности, размер зерна, количество и расположение упрочняющих фаз в металле, в большей мере характеризует стойкость наплавленного металла к разрушению от термической усталости.

Выводы

1. Лазерное наплавление деталей машин и инструмента, наплавленных сплавами на основе γ -NiAl, следует применять в тех случаях, когда в условиях

термоизлого нагружения их рабочие поверхности подвергаются термоцированию.

2. Для наплавки изделий термостойкими сплавами на основе γ -NiAl предпочтительны процессы ЭШП, которые в сравнении с дуговой наплавкой позволяют получать более качественный наплавленный металл.

ЛИТЕРАТУРА

- Упрочнение деталей луком лазера / В.С. Коваленко, Л.Ф. Головко, Г.В. Меркулов и др. Красногорск: Энергоиздат, 1981. 122 с.
- Кравченко В.С. Обработка поверхности металлических материалов лазерным излучением // Поверхность. Физика, химия, механика. 1982. № 3. С. 1–12.
- Перспективы применения лазерных технологий для повышения эксплуатационных свойств деталей машин и оборудования / Е.И. Тескор, В.А. Гурьев, С.Е. Тескор и др. // Упрочнение технологии и покрытия. 2005. № 1. С. 35–38.
- Рыбин И.А. Свойства сплавов на основе Fe, Ni, Co, наплавленных лазерно-порошковыми методами // Наплавленный металл. Состав, структура, свойства: об. науч. тр. Красногорск: ИЭС им. Е.О. Патона, 1992. С. 23–25.
- Пат. № 2254219 РФ, МПК В 23 K35/368. Переключатель преводника для наплавки / Г.Н. Соколов, С.Н. Широкин, В.И. Лысак и др. 2005. Бюл. № 17. С. 288.
- Гриберг В.А., Ильин М.А. Интерметаллиды NiAl и TaAl: микроструктура, деформационное поведение. Екатеринбург: УрО РАН, 2002. 360 с.
- Скачков О.А. Перспективные жаростойкие и жаропрочные сплавы на основе интерметаллидов NiAl и Ni₃Al. макроструктура, деформационное поведение. Сыктывкар: УрО РАН, 2002. № 2. С. 74–77.
- Изучение высокотемпературных свойств наплавленного металла методом склерометрии / Е.И. Лебедев, Г.Н. Соколов, И.В. Зорин и др. // Вопросы материаловедения. 2004. № 2. С. 87–98.
- Изучение высокотемпературных свойств наплавленного металла методом склерометрии / Е.И. Лебедев, Г.Н. Соколов, И.В. Зорин и др. // Упрочнение технологии и покрытия. 2005. № 1. С. 40–44.

АНОНС

Читайте в следующем номере журнала:

Коломейченко А.В., Титов Н.В. Повышение износостойкости внутренних цилиндрических поверхностей деталей машин при использовании комбинированной технологии микродутового оксидирования и нанесения медного слоя.

Жачкин С.Ю. К вопросу нанесения размерных композитных хромовых покрытий методом гальванохимического осаждения.