

УДК 620.17

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЛОКАЛЬНОЙ СДВИГОВОЙ ПРОЧНОСТИ СЦЕПЛЕНИЯ СЛОЕВ БИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО СОЕДИНЕНИЯ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМ ПЛАКИРУЮЩИМ СЛОЕМ

© 2011 г.

М.В. Мясникова, Н.Б. Пугачева

Институт машиноведения УрО РАН, Екатеринбург

marina@imach.uran.ru

Поступила в редакцию 15.06.2011

Разработана методика оценки локальной адгезионной сдвиговой прочности сцепления слоев биметаллического соединения из листов алюминиевого сплава АМг6 и стали 12Х18Н10Т с покрытием из алюминиевого сплава АД1. По результатам индентирования на границах раздела слоев установлено образование вертикальных ступенек в промежуточном алюминиевом слое. Получены зависимости, связывающие величину ступеньки на границе раздела слоев с глубиной внедрения индентора при разных значениях адгезионной прочности на сдвиг.

Ключевые слова: биметалл, композит, напряжения сдвига, прочность сцепления.

Введение

Определение прочностных характеристик материалов, в том числе и биметаллических соединений, является актуальной задачей, которая успешно решается при проведении стандартных механических испытаний. Сложность возникает, когда детали имеют малые размеры, вследствие чего из них затруднительно изготовление образцов для проведения типовых испытаний. В настоящей работе сделана попытка разработать методику, предназначенную для исследований локальной адгезионной сдвиговой прочности сцепления слоев в биметаллических деталях малых размеров по результатам физических экспериментов и конечно-элементного моделирования процесса вдавливания индентора в зону плакирующего алюминиевого слоя на границе соединения слоев биметалла.

Методика эксперимента

Для испытаний использовали образцы из биметаллического соединения, полученного методом совместной прокатки листов алюминиевого сплава АМг6 и коррозионно-стойкой стали 12Х18Н10Т с покрытием из алюминиевого сплава АД1. Поверхности образцов шлифовали с использованием стандартных методик. Испытание заключалось во внедрении алмазного индентора Виккерса при разных нагрузках в зону промежуточного плакирующего слоя так, чтобы одна из диагоналей индентора была параллельна линии

сцепления, а другая – перпендикулярна. Замер диагоналей полученных отпечатков проводили с помощью оптического микроскопа при 100-кратном увеличении. Для исследования поверхности участка металла вокруг отпечатка использовали измерительную систему на базе интерференционного микроскопа NT1100 фирмы «Veeco», который позволяет получать трехмерное изображение рельефа поверхности с разрешением до 300 нм в плоскости поверхности и менее 1 нм в перпендикулярном направлении.

Для конечно-элементного моделирования биметаллическое соединение задавали в виде трех пластин, центральная из которых представляет собой плакирующий слой со свойствами алюминиевого сплава АД1. Для определения механических характеристик компонентов соединения вырезали плоские образцы из слоев биметалла, которые подвергали одноосному растяжению на испытательной машине INSTRON 8801 при скорости нагружения 0.1 мм/мин. По результатам испытаний строили кривые деформационного упрочнения. Механические свойства алюминиевого сплава АД1 задавали из справочных данных. Границы соединения слоев рассматривали как контактные пары, имеющие возможность относительного смещения после нарушения адгезионной прочности. Полная величина сдвигового напряжения τ , возникающего на границе соединения слоев складывается из величины адгезионной прочности на сдвиг A (предел прочности на сдвиг) и напряжения трения по Кулону μp при смещении слоев относительно друг друга: $\tau = A + \mu p$,

где μ – коэффициент трения, p – нормальное контактное давление.

Результаты и их обсуждение

Установлено, что деформационный рельеф на поверхности шлифа, видимый средствами световой микроскопии, образован в результате выдавливания вверх части металла плакирующего слоя. При этом профиль выдавленного участка плакирующего слоя представляет собой дугообразный купол с вертикальными ступеньками на границах слоя и соединяемых участков. Высоту ступеньки измеряли с помощью интерференционного микроскопа NT1100 и полагали, что сама высота ступеньки при фиксированной глубине внедрения индентора зависит от наличия возможности относительного смещения слоев биметалла после нарушения адгезионных связей, но не определяет непосредственно предел прочности на сдвиг.

Для количественной оценки напряжений, возникающих в плоскостях соединения слоев при вдавливании индентора, использовали результаты конечно-элементного моделирования. Из испытаний на растяжение плоских образцов определили, что величина предела сдвиговой адгезионной прочности A соединения составляет 57–68 МПа. Принимая величину адгезионной сдвиговой прочности соединения A в среднем равной 63 МПа, решили ряд задач с варьированием величины коэффициента трения μ в вероятном диапазоне изменения 0.1–0.3. В результате получили ряд расчетных зависимостей высоты ступеньки на выдавленном промежуточном слое от глубины вдавливания индентора для каждого значения коэффициента трения. Путем сравнения экспериментальных и расчетных данных, исходя из минимизации величины квадратичной невязки, нашли фактический коэффициент трения на границе «плакирующий слой–сталь 12X18H10T» равным 0.25, а на границе «плакирующий слой – сплав АМг6» равным 0.15. Поскольку локальная адгезионная прочность на сдвиг слоев может значительно отличаться от величины прочности сцепления слоев биметаллического соединения в целом, моделировали процесс внедрения индентора в промежуточный слой при фактической величине коэффициента трения $\mu = 0.25$ на границе «плакирующий слой–сталь 12X18H10T» и $\mu = 0.15$ на границе «плакирующий слой–сплав АМг6», варьируя величину адгезионной прочности в диапазоне изменения $A = 10$ –100 МПа. В итоге построили диаграммы зависимости высоты ступеньки на границе раздела слоев от глубины

внедрения индентора при разных значениях адгезионной прочности на сдвиг для стали 12X18H10T и сплава АМг6 ($1 - A = 10$ МПа; $2 - A = 20$ МПа; $3 - A = 30$ МПа; $4 - A = 40$ МПа; $5 - A = 50$ МПа; $6 - A = 60$ МПа; $7 - A = 70$ МПа, $8 - A = 80$ МПа, $9 - A = 90$ МПа, $9 - A = 100$ МПа). Анализ расчетных данных, а также характерный вид полученных кривых (рис. 1, 2) позволяют сделать вывод о том, что наиболее адекватные результаты моделирования получаются при минимальной глубине внедрения индентора 70–75 мкм и максимальной не более 150–160 мкм.

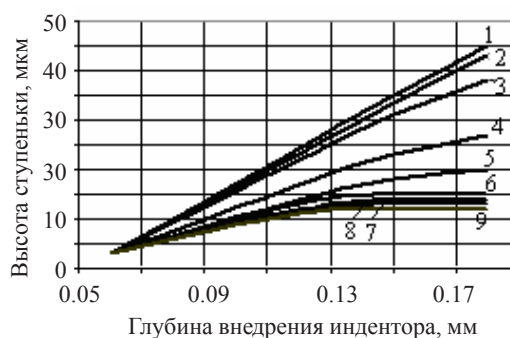


Рис. 1

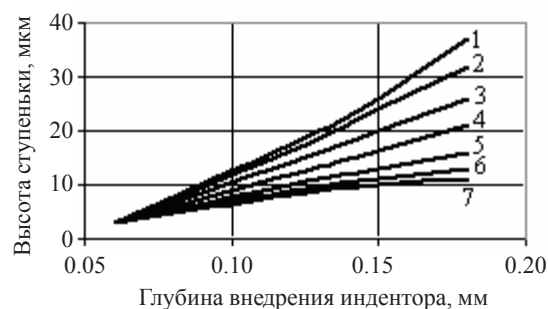


Рис. 2

Заключение

В результате внедрения индентора Виккерса в зону промежуточного плакирующего слоя биметаллического соединения, полученного методом совместной прокатки листов сплава АМг6 и стали 12X18H10T с плакирующим покрытием из алюминиевого сплава АД1, происходит выдавливание вверх участка слоя с образованием вертикальных ступенек на границах слоя и соединяемых участков. Такой специфический профиль выдавленного участка плакирующего слоя позволил разработать методику для исследований локальной сдвиговой адгезионной прочности сцепления слоев данного биметаллического соединения.

Работа выполнена в рамках междисциплинарного проекта УРО РАН №09-М-13-2001.

**A METHODOLOGY OF DETERMINING LOCAL SHEAR STRENGTH OF A BIMETAL
WITH AN INTERMEDIATE PLATING LAYER**

M.V. Myasnikova, N.B. Pugacheva

A method of determination of local adhesive shear strength of the bimetal made of AМr6 aluminium alloy and 12Х18Н10Т steels with intermediate plating layer of АД1 aluminium alloy is developed. Formation of vertical steps in the intermediate layer by indentation on the interface of the metals has been found. Relations between the step size on the boundary and penetration depth of the indenter for different values of adhesive shear strength are obtained.

Keywords: bimetal, composite, shear stress, adhesive strength.