

Для металлов, соединенных сплавлением, характерен еще один вид диффузионного процесса. Его механизм связан с разницей в термодинамической активности элементов. Механизм протекания этого процесса следующий: если у атомов легирующего элемента силы связи с атомами углерода меньше, чем у атомов железа, то атомы углерода оттесняются от атомов такого элемента и стремятся попасть в область влияния атомов железа. Значит, в результате этого процесса легирующий элемент увеличивает термодинамическую активность атомов углерода к перемещению их в те области, где их концентрация меньше. К элементам, увеличивающим термодинамическую активность углерода в железе, относятся кремний и никель.

В настоящее время отсутствуют расчетные формулы для оценки диффузионных процессов при наплавке твердых самофлюсующихся сплавов на малоуглеродистую сталь. Однако можно считать, что размер диффузионной зоны определяется следующими факторами: природой взаимодействующих металлов; их концентрацией; температурой наплавки; продолжительностью взаимодействия. При разработке технологии нанесения износостойкого покрытия важно обеспечить высокие физические и механические характеристики зоны сплавления основного металла и покрытия, так как именно они зачастую определяют работоспособность восстановленных и упрочненных деталей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ткачев В.Н., Фиштейн Б.М. Индукционная наплавка твердых сплавов. – М.: Машиностроение, 1970. – 184 с. 2. Богомолова Н.А. Практическая металлография. – М.: Высшая школа, 1978. – 360 с. 3. Комплексное исследование природы разрушения материалов с покрытиями: Отчет о НИР (заключ.) / Полоцкий государственный университет (ПГУ): Руководитель В.Э. Завистовский. – ГБ 13-95. – Новополоцк, 1996. – 97 с. (с приложением) 4. Завистовский В.Э. Механика разрушения и прочность материалов с покрытиями. – Новополоцк: ПГУ, 1999. – 144 с. 5. Завистовский В.Э., Холодильников О.В., Богданович П.Н. Физика отказов механических систем. – Мн.: Технопринт, 1999. – 212 с.

УДК 621.81.408

С.А. Иващенко

РАСЧЕТ ВЕЛИЧИНЫ ДЕФОРМАЦИИ ПЛОСКИХ ДЕТАЛЕЙ С ПОКРЫТИЕМ ИЗ САМОФЛЮСУЮЩЕГО СПЛАВА

*Белорусская государственная политехническая академия
Минск, Беларусь*

Получение, а в некоторых случаях и эксплуатация износостойких покрытий, неизбежно связаны с возникновением в них остаточных термических напряжений, которые оказывают решающее влияние на прочность покрытия и его сцепление с основой.

При недостаточном сцеплении может произойти отслаивание покрытия; если же прочность сцепления больше отрывного усилия, например, при напылении покрытий с последующим оплавлением, то возникающие напряжения могут привести к деформации детали или к повреждению (растрескиванию) покрытия [1]. Растрескивание и отслаивание покрытия ухудшают его качество и в ряде случаев приводят к браку. Деформация детали приводит к потере геометрической точности. Если потерю точности цилиндрических деталей после получения покрытия можно компенсировать, например, изменением размера сопрягаемой детали, то влияние деформации при упрочнении плоской детали можно устранить только механической обработкой слоя покрытия, равного по величине прогибу детали.

Поэтому при проектировании технологических процессов нанесения упрочняющих покрытий, необходимо прогнозировать коробление плоскостных деталей.

Ранее [2] было установлено, что деформация деталей при нанесении покрытий из самофлюсующихся сплавов зависит от следующих основных факторов:

- температуры процесса;
- усадки покрытия при оплавлении;
- соотношения коэффициентов термического расширения материалов основы и покрытия;
- соотношения геометрических параметров основы и покрытия;
- способа предварительной обработки основы под напыление.

Цель настоящей работы – установить количественное влияние отдельных факторов и получить зависимости для расчета величины деформации плоской детали с покрытием из самофлюсующегося сплава.

На первом этапе работы определялся характер влияния отдельных факторов на величину коробления плоских образцов с покрытием.

На рис. 1 показана зависимость величины коробления плоских образцов из стали 12Х18Н10Т с покрытием из самофлюсующегося сплава ПГ-СРЗ от толщины покрытия и подложки. Соотношение длины и ширины образцов в соответствии с рекомендациями [3] принято равным 10:1.

Из результатов, представленных на графике, следует, что с увеличением толщины основы деформация образцов с различной толщиной покрытия уменьшается; при толщине основы порядка 10 мм деформация образцов практически одинакова и составляет менее 0,2 мм. При этом в покрытии возникают остаточные напряжения сжатия, о чем свидетельствует положительный (покрытием вверх) прогиб образцов. При одинаковой толщине основы более толстое покрытие приводит к большей деформации образцов. Это объясняется тем, что при одной и той же жесткости основы в покрытии большей толщины возникают большие по величине напряжения. Деформация образцов с толщиной покрытия 0,5 и 1 мм практически одинакова и значительно меньше, чем у образцов с толщиной покрытия 2 и 3 мм. Поэтому при упрочнении плоских

деталей из аустенитной стали нецелесообразно использование покрытий толщиной более 1 мм, так как при этом значительно увеличивается деформация деталей.

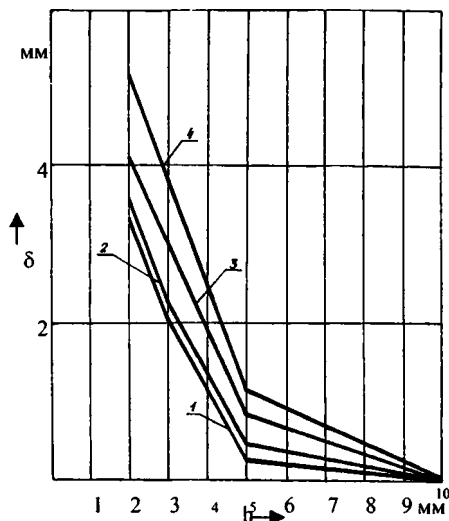


Рис. 1. Зависимость величины деформации плоских образцов из стали 12Х18Н10Т с покрытием из самофлюсующегося сплава ПГ-СР3 от толщины основы при различных толщинах покрытия: 1-4-толщина покрытия 0, 0,5, 1, 2, 3 мм, соответственно.

На рис.2 показана зависимость величины деформации свободнзакрепленных образцов из стали 12Х18Н10Т от изменения толщины основы на этапах получения покрытия (дробеструйная обработка, нанесение покрытий, оплавление) при разных соотношениях коэффициентов термического расширения основы и покрытия. Из анализа результатов исследований следует, что нанесение и оплавление покрытия ПГ-СР3 последовательно увеличивают величину деформации образцов (зависимости 2 и 3). Это значит, что напряжения, вызванные дробеструйной обработкой, осаждением покрытий и оплавлением, суммируются. Анализ полученных зависимостей показывает, что при толщине образцов до 3...4 мм основное влияние на коробление оказывает дробеструйная обработка. С увеличением толщины основы влияние дробеструйной обработки ослабевает. При напылении на основу из стали 12Х18Н10Т бронзового покрытия (зависимость 4, рис.2) уменьшается прогиб образцов, а при толщине основы свыше 4...5 мм изменяется и направление прогиба. Это значит, что изменился знак напряжений в покрытии. Таким образом, на величину коробления плоского образца влияют все этапы получения покрытия: и дробеструйная обработка, и осаждение, и оплавление.

Определенный интерес представляет рассмотрение количественного соотношения факторов, влияющих на коробление плоских деталей с покрытием из самофлюсующегося сплава. В результате экспериментальных исследований установлено, что влияние операций технологического процесса формирования покрытия на деформацию образцов толщиной 3...5 мм следующее (при общей величине деформации 100%) : дробеструйная обработка около 60%, напыление покрытия – около 20%, оплавление – около 20%. При большей толщине основы дробеструйная обработка и напыление практически не приводят к деформации образца, однако нельзя считать, что эти операции не влияют на величину конечной деформации образцов. Их влияние может сказываться в совокупности с другими факторами.

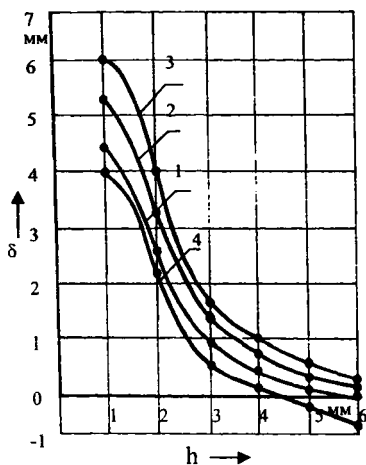


Рис.2 Зависимость величины деформации образцов из стали 12Х17Н10Т от толщины основы: 1- деформация после дробеструйной обработки; 2 и 3 – деформация после плазменного напыления и оплавления самофлюсующегося сплава ПРГ-СРЗ, соответственно; 4 – деформация после плазменного напыления бронзы БРОФ10-1

Деформация плоских деталей из аустенитной стали с покрытием из самофлюсующегося сплава, возникающая в результате температурных напряжений, определяется из формулы Тимошенко для биметаллической полосы, которая после соответствующих преобразований приведена к зависимости [4]

$$\delta = \frac{3(\alpha_2 - \alpha_1) (1 + m^2) TL^2}{4h \left[3 (1 + m^2) + \left(m^2 + \frac{1}{mn} \right) (1 + \mu_1 + mn + \mu_2 m n) \right]} \quad (1)$$

где α_1 и α_2 – коэффициенты термического расширения материалов основы и покрытия соответственно; T – температура детали; L – длина плоской детали; h – толщина детали с покрытием ($h = h_1 + h_2$); μ_1 и μ_2 – коэффициенты Пуассона материала основы и покрытия, соответственно; $m = h_1/h_2$ – отношение толщин материалов основы и покрытия соответственно ($h_2 = 1$ мм); $n = E_1/E_2$ – отношение модулей упругости материалов основы и покрытия соответственно.

Для нас представляет интерес зависимость величины деформации δ_T образца с покрытием от толщины h_1 и длины L основы при заданной толщине покрытия h_2 . Анализ аналитической зависимости (1) с этой точки зрения показывает, что она с высокой степенью точности аппроксимируется:

$$\delta_T = \frac{AL^2}{h_1^2 + Bh_1 + C} \quad (2)$$

где A, B, C – постоянные, зависящие от температуры образца и физико-механических свойств материалов основы и покрытия.

Например, деформация плоского образца из стали 12Х18Н10Т с покрытием из самофлюсующегося сплава ПГ-СРЗ толщиной 1 мм определяется выражением:

$$\delta_T = \frac{1,326 \cdot 10^{-3} L^2}{h_1^2 + 0,166h_1 + 7,2} \quad (3)$$

При этом значения деформации δ_T , рассчитанные по (3), отличаются не более чем на 3% от значений, рассчитанных по (1) (рис.3 (зависимость 1)). Проведенные экспериментальные исследования показали, что реальная деформация образцов с покрытием из самофлюсующегося сплава ПГ-СРЗ (рис. 3 – показана точками) существенно отличается от расчетной (рис. 3, зависимость 1). Это связано с тем, что источником деформации образцов с покрытием из самофлюсующегося сплава, кроме термических напряжений, являются также напряжения, вызванные усадкой материала покрытия, и напряжения, возникающие в результате предварительной (в данном исследовании дробеструйной) обработки изделия перед нанесением покрытия.

Как следует из рис. 2, напряжения, возникающие в материале изделия и покрытия при усадке, аналогичны термоупругим напряжениям, так что деформация должна определяться зависимостью, аналогичной выражению (2). Это позволяет предположить, что и суммарная деформация, возникающая в результате воздействия трех основных факторов (температура, усадка, наклеп), должна иметь такую же зависимость. Действительно, деформация образцов после оплавления покрытия, приведенная на рис. 3 (обозначена кружочками), с точностью лучше 10% подчиняется зависимости

$$\delta = \frac{2,7 \cdot 10^{-4} L^2}{h_1^2 - 4,7h_1 + 6} \quad (4)$$

Таким образом, зависимость (4) указывает на общий характер деформации плоской детали с нанесенным покрытием. Ее можно использовать для расчета величины коробления плоских деталей из аустенитной стали 12X18H10T (и аналогичных) с покрытием из самофлюсующегося сплава, поскольку приведенные численные значения коэффициентов А, В и С (формула 2) относятся к конкретному материалу основы и покрытия.

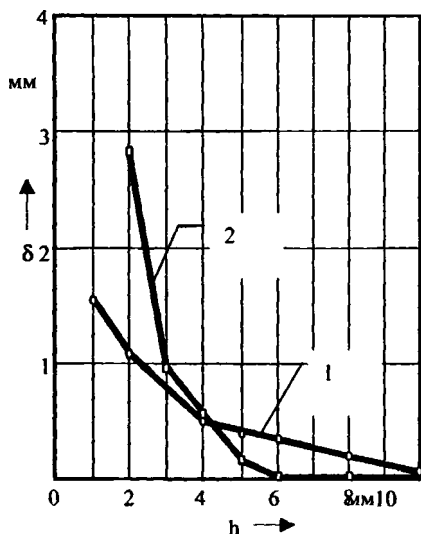


Рис. 3 Расчетные и экспериментальные зависимости величины деформации плоских образцов из аустенитной стали 12X18H10T (h -толщина) с покрытием из самофлюсующегося сплава ПГ-СРЗ толщиной 1 мм: 1 – Расчетные величины деформации образцов с покрытием по Г.И. Журавлеву [4]; 2 – Расчетные величины деформации образцов с покрытием по формуле (2) (кружочки – экспериментально полученные значения деформации)

ЛИТЕРАТУРА

1. Засун А. Техника напыления./пер.с японского. – М.: Машиностроение, 1975. – 288 с.
2. Иващенко С.А. Деформация плоских деталей при нанесении покрытий из самофлюсующихся сплавов / машиностроение. – Мн., 1984. Вып. 9.– С. 42–44.
3. Журавлев Г.И., Химия и технология термостойких неограических покрытий. – Л.: Зиния, 1975.– 200 с.
4. Журавлев Г.И., Кирш М.К. К методике определения термоупругих напряжений в покрытиях / Защитные высокотемпературные покрытия. – Л.: Наука, 1972. – С.152 – 155.