

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗОНЫ ДИФфуЗИОННОГО СОЕДИНЕНИЯ
МЕТОДОМ ПОСЛОЙНОГО СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА

Прочность соединений, получаемых методом диффузии в вакууме, определяется в первую очередь процессами, протекающими в зоне контакта. Одно из основных мест среди этих процессов занимает перемещение атомов от одного контактирующего материала к другому, то есть процесс концентрационной диффузии.

В переходной зоне соединений, полученных диффузионной сваркой в вакууме, наблюдаются резкие локальные изменения состава.

Применение послойного спектрального анализа позволяет определить химический состав переходной зоны, то есть значительно увеличивает объем информации о диффузионных процессах при сварке [1]. Кроме того, этот метод позволяет определить глубину, направление, относительную эффективность диффузии ΔS компонентов соединяемых материалов, а также вычислить в первом приближении коэффициенты диффузии D . Методика проведения анализа предусматривает снятие слоев толщиной не менее 10 мкм, с последующим прижогом торца образца.

Результаты расшифровки полученных спектрограмм показаны на рис. 1—3. При этом отметим, что все исследуемые образцы были изгото-

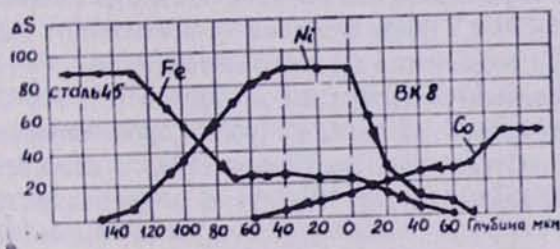


Рис. 1. Диффузия элементов при соединении ВК8—Ni—сталь 45.

товлены методом диффузии при следующих оптимальных режимах: температура сварки — 1000°C, давление — 1 кг/мм², вакуум — 10⁻³ мм рт. ст., время сварки — 10 мин.

Анализируя полученные данные, можно сделать вывод, что формирование соединения ВК8—Ni—сталь 45 происходит за счет активной взаимной диффузии железа, никеля и кобальта. Указанная взаимная диффузия элементов из твердого сплава через подслой никеля в сталь и наоборот создает переходную зону как в твердом сплаве (обогащен-

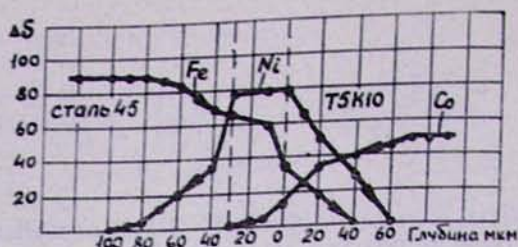


Рис. 2. Диффузия элементов при соединении T5K10—Ni—сталь 45.

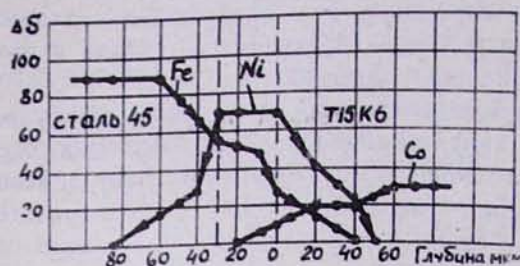


Рис. 3. Диффузия элементов при соединении T15K6—Ni—сталь 45.

ную на глубине 60—70 мкм железом, никелем и обедненную на глубине 90 мкм кобальтом), так и в стали 45 (обогащенную на глубине 20 мкм кобальтом, 110 мкм — никелем и обедненную на глубине 90 мкм железом). В никелевый подслоя, на всей глубине равной 40 мкм, диффундируют как железо, так и кобальт.

Аналогичные переходные зоны возникают и при соединении твердых сплавов марок T5K10 и T15K6. Эти зоны отличаются от переходных зон, образующихся при соединении твердого сплава BK8—Ni—сталь 45, глубиной и относительным содержанием элементов (*Fe*, *Ni*, *Co*).

Это вполне понятно, так как на глубину проникновения и скорость диффузии оказывают влияние много факторов, в частности, исходная концентрация кобальта, состав, структура и величина зерен твердых сплавов.

Таким образом, общая глубина диффузионного слоя (с учетом переходных зон и никелевого подслоя) составляет: при армировании твердым сплавом BK8 — 240 мкм, T5K10 — 170 мкм и T15K6 — 145 мкм.

Полученные данные спектрального анализа хорошо согласуются с результатами измерения микротвердости.

В табл. 1 приведены средние значения десяти замеров, произведенных на микротвердометре ПМТ-3, при нагрузках на индентор, равных 100, 50 и 20 г, принятых соответственно для твердого сплава, стали 45 и никеля.

Таблица 1

Микротвердость зон диффузии при соединении твердый сплав—Ni—сталь
45 (кг/мм²)

Место замера микротвердости	BK8	T5K10	T15K6
Край образца твердого сплава	1290	1434	2100
Переходная зона со стороны твердого сплава	1560	1316	1874
Переходная зона в никеле со стороны твердого сплава	440	265	250
Переходная зона в никеле со стороны стали 45	198	192	190
Переходная зона со стороны стали 45	340	290	300
Край стального образца	260	230	260

Изменение микротвердости сплавов BK8, T5K10, T15K6 в переходной зоне связано с изменением в этой зоне концентрации кобальта, железа и никеля.

Активная диффузия кобальта из твердого сплава BK8 (ширина диффузии 150 мкм) приводит к некоторому его дефициту и, следовательно, увеличению микротвердости сплава в районе переходной зоны. Это естественно, так как известно, что твердость сплавов WC—Co и WC—TiC—Co линейно увеличивается с уменьшением содержания кобальта [2].

Иная картина выявляется в случае армирования стали 45 двухкарбидными сплавами T5K10 и T15K6. Здесь мы видим относительно незначительную диффузию кобальта из указанных сплавов; глубина диффузии кобальта соответственно равна 100 и 80 мкм, что намного меньше, чем при соединении твердого сплава BK8. Возможно, тут сказывается влияние карбида титана, так как известно, что изменение концентрации или содержания другого (третьего) компонента может резко менять общий характер диффузии, влиять качественно и количественно на проходящие диффузионные процессы.

Рассматриваемая переходная зона обогащена железом и никелем. Относительно повышенная концентрация этих элементов по сравнению с концентрацией кобальта и оказывает влияние в части снижения микротвердости твердых сплавов T5K10 и T15K6 в переходной зоне (табл. 1).

Отмеченное выше характерное влияние диффузии элементов на микротвердость наблюдается и в никелевом подслое. Тут образуется переходная зона со стороны твердого сплава, представляющая собой твердый раствор никеля, железа и кобальта, причем большее насыщение этой зоны кобальтом, в зависимости от применения марки твердого сплава, ведет к возрастанию ее микротвердости в следующей последовательности 250 (T15K6)→265 (T15K6)→440 кг/мм² (BK8).

Таким образом, результаты изменения микротвердости использованы для качественного суждения о процессах диффузии. Здесь еще раз отметим согласованность результатов микроструктурного исследования [3], послойного спектрального анализа и измерения микротвердости.

На основании полученных результатов послойного спектрального анализа попытаемся вычислить коэффициенты диффузии D взаимодействующих элементов (Co , Ni , Fe), зная известную временную зависимость:

$$X = k \sqrt{D\tau}, \quad (1)$$

где X — глубина диффузии (глубина образовавшегося слоя), см;

D — коэффициент диффузии, см²/сек;

τ — время диффузии, сек;

k — коэффициент, зависящий от степени уменьшения концентрации диффундирующего элемента на заданной глубине по сравнению с исходной концентрацией.

Принимаем отношение концентраций диффундирующего элемента 1 : 100 (исходное к рассматриваемому). Тогда значение коэффициента $K=3,6$ [4]. Легко преобразуя (1), будем иметь

$$D = \frac{X^2}{k^2\tau}. \quad (2)$$

Коэффициенты диффузии, вычисленные по формуле (2), представлены в табл. 2.

Таблица 2

Диффундирующий элемент	Основной металл, сплав, соединение	X , см	τ , сек	D , $\frac{\text{см}^2}{\text{сек}}$	Примечание
$Fe \rightarrow$	$Ni + BK8$	0,019	600	$4,64 \cdot 10^{-8}$	
$Fe \rightarrow$	$Ni + T5K10$	0,012	600	$1,85 \cdot 10^{-8}$	
$Fe \rightarrow$	$Ni + T15K6$	0,01	600	$1,285 \cdot 10^{-8}$	
$Ni \rightarrow$	сталь 45	0,011	600	$1,58 \cdot 10^{-8}$	сталь 45 + Ni + BK8
$Ni \rightarrow$	сталь 45	0,0075	600	$7,25 \cdot 10^{-9}$	сталь 45 + Ni + T5K10
$Ni \rightarrow$	сталь 45	0,0055	600	$4,18 \cdot 10^{-9}$	сталь 45 + Ni + T15K6
$Ni \rightarrow$	BK8	0,007	600	$6,32 \cdot 10^{-9}$	
$Ni \rightarrow$	T5K10	0,006	600	$4,63 \cdot 10^{-9}$	
$Ni \rightarrow$	T15K6	0,005	600	$3,22 \cdot 10^{-9}$	
$Co \rightarrow$	$Ni + \text{сталь 45}$	0,015	600	$2,89 \cdot 10^{-8}$	из BK8
$Co \rightarrow$	Ni	0,009	600	$1,041 \cdot 10^{-8}$	из T5K10
$Co \rightarrow$	Ni	0,008	600	$8,26 \cdot 10^{-9}$	из T15K6

Отметим, что значения полученных величин коэффициентов диффузии элементов железа, кобальта и никеля близки друг к другу. Это, конечно, не случайно.

Общезвестно влияние электронного строения металлов на механизм образования, соединения при диффузионной сварке.

Исходя из этой позиции укажем, что триада элементов-аналогов (Fe , Co , Ni) имеет одинаковое строение атомов по числу электронных орбит и валентных электронов. Но в то же время, если число валентных

электронов у них одинаково и равно двум, то следующая за внешней электронной орбитой подгруппа $3d$ недостроена. Причем от железа к никелю число электронов в ней возрастает с 6 до 8 ($Fe-6$, $Co-7$, $Ni-8$). Потому железо легче и быстрее «достраивает» орбиту подгруппы $3d$, образуя общее электронное облако при достаточном сближении атомов металлов, соединяемых диффузионной сваркой в вакууме. То есть можно ожидать падение скорости диффузии от железа к никелю.

Сказанное подтверждается данными табл. 2.

Отсюда следует, что скорость диффузии (коэффициент диффузии) снижается в следующей последовательности: железо, кобальт, никель.

В заключение отметим одно важное обстоятельство. При армировании инструмента методом диффузии, для уменьшения большого различия $k_{тр}$ твердого сплава и стали, применялся компенсационный подслоя в виде порошка никеля.

Известная компенсирующая роль никелевого подслоя (глубина 40 мкм) может намного усиливаться вследствие образования диффузионного слоя большой глубины (240—145 мкм). Такой слой обладает наилучшими компенсационными возможностями, из-за аддитивности механических свойств твердого раствора.

ЛИТЕРАТУРА

1. К. А. Сухенко, Спектральный анализ сталей и сплавов. М., Оборонгиз, 1954.
2. Г. С. Креймер, Прочность твердых сплавов. М., 1962.
3. К. М. Мирзоев, Металлографическое исследование структур твердосплавных пластин, соединенных со сталью. «Промышленность Армении», № 2, 1970.
4. Р. Б. Котельников и др., Особо тугоплавкие элементы и соединения. М., 1969.
5. И. И. Корнилов, Никель и его сплавы. М., 1958.