

УДК 621.791.72:621.373.826:622.23.051.7

В. В. Борисова, С. М. Кутьев, инженеры, С. Ф. Морящев, канд. техн. наук
(Троиц. ин-т инновационных и термоядерных исслед., Моск. обл.)

ЛАЗЕРНАЯ СВАРКА АЛМАЗОНОСНЫХ СЕГМЕНТОВ СО СТАЛЬНЫМИ КОРПУСАМИ

Ключевые слова: лазерная сварка, отрезные алмазные сегментные круги, алмазоносные сегменты, порошковая связка, сварные швы, дефекты, порообразование, граница сплавления, ЗТВ

В настоящее время во всем мире для резания горных пород, огнеупоров, бетона и других неметаллических строительных материалов широко используются отрезные алмазные круги. За рубежом для крепления алмазоносных сегментов к стальным корпусам широко применяется лазерная сварка и еще традиционно используется пайка [1-3]. В отечественной промышленности такое крепление осуществляется только посредством пайки с нагревом токами высокой частоты. Недостатками такой технологии являются образование большой зоны термического влияния, а также возможная нестабильность прочностных характеристик паяного соединения и отсутствие надежных методов неразрушающего контроля. Первый недостаток приводит к некоторым искажениям формы корпуса диска, а другие снижают качество и надежность алмазного инструмента.

Алмазоносные сегменты изготавливаются методом порошковой металлургии из природных и синтетических алмазов, связкой для которых служат различные композиции порошков металлов.

В настоящей работе исследовалась возможность лазерной сварки алмазоносных сегментов со связками на основе бронзы (1), кобальта (2), кобальта и меди (3), меди и карбида вольфрама (4) со сталью 65Г вместо пайки применительно к производству отрезных алмазных кругов.

Сварку выполняли СО₂-лазером на натурных соединениях и образцах. Качество сварных соединений оценивали по их внешнему виду, форме и наличию дефектов; были проведены металлографические исследования.

Следует отметить, что сварка на малых скоростях (4...10 мм/с) сопровождалась порообразованием при использовании всех видов связок. Количество пор, их размеры и характер распределения были неодинаковы и зависели от типа связки. Так, при сварке сегментов со связкой 4 в сварном шве образуются одиночные поры диаметром 0,3...0,8 мм; со связкой 1 — появляется цепочка пор вдоль границы сплавления. Сварка на тех же скоростях (связка 2) приводит к образованию цепочки крупных

(диаметром до 1,5 мм) пор, выходящих на поверхность сварного шва. При сварке сегментов со связкой 3 вдоль линии сплавления появляется зона мелких остроугольных пор, резко снижающая прочность соединения. Ширина зоны ослабления 0,2...0,7 мм. Поры имеют неправильную форму (длина 60...200 мкм, ширина 10...50 мкм) и располагаются по границам порошковых частиц металла. Общий вид зоны ослабления и форма пор в изломе швов (связка 3) показаны на рис. 1.

Для определения причин возникновения пор (сегменты со связкой 3) на электронном микроскопе РЭММА-02 были исследованы изломы образцов после механических испытаний. На рис. 2 показано изобра-



Рис. 1. Зона ослабления (а, X8, показана структура пор, X100, уменьш. 1/2) в сварном соединении сегментов со связкой 3

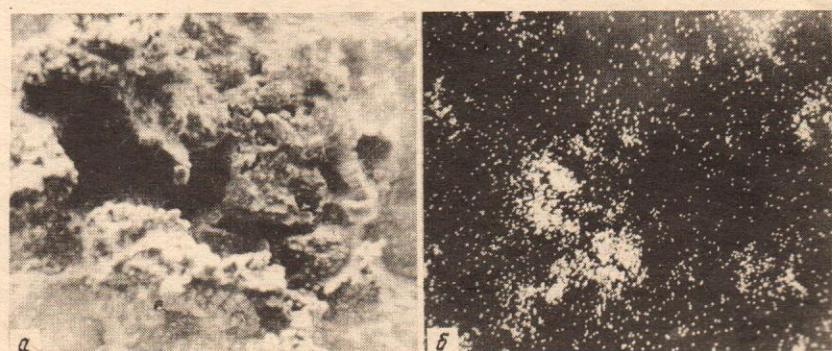


Рис. 2. Участок излома по зоне термического влияния сварного соединения сегмента со связкой 3: а — изображение в отраженных электронах; б — распределение титана на этом участке, полученное в лучах Ti K_α (X230, уменьш. 3/5)

жение участка излома в отраженных электронах и расположение титана на этом же участке, снятое в лучах Ti Ka. Видно, что поры, заметные на рис. 2, а, соответствуют скоплениям соединений титана на рис. 2, б. Механизм образования пор, вероятно, таков: при сварке происходят разогрев ЗТВ и разложение неустойчивого соединения титана с выделением газа; газ разрывает порошковую связку, и при этом образуются вытянутые остроугольные поры. Изменяя режим сварки, избавиться от этого дефекта не удалось.

Для сегментов со связками 1 и 4 были найдены оптимальные режимы сварки, при которых формируется качественный сварной шов без дефектов, способных существенно влиять на прочность сварного соединения. Увеличивая скорость сварки, удалось уменьшить число и размеры пор в сварном шве сегментов (связка 2). Предварительная термическая обработка сегментов со связкой 2 перед сваркой позволила получить плотные сварные швы без пор и трещин.

На шлифах, вырезанных в направлении, перпендикулярном сварному шву, исследовали микроструктуру сварного соединения и проводили измерения микротвердости на приборе ПМТ-3. В случае сварки с двух сторон за два прохода измерения проводили отдельно для первого и второго швов. Для травления шлифов использовали 4%-ный раствор HNO_3 и раствор $FeCl_2 \cdot CuNO_3 \cdot HCl$.

Микроструктура швов сварных соединений сегментов со связками 1 и 4 неоднородна. Неоднородность структуры характеризуется распределением твердости HV, показанном на рис. 3. При сварке сегмента (связка 1) со сталью в шве были выявлены две структурные составляющие с различным уровнем твердости (рис. 3, а). Можно предположить, что более твердая из них — это обогащенная медью сталь, которая закаливается в процессе сварки. При втором проходе происходит отпуск первого шва, поэтому твердость ее в первом шве ниже, чем во втором. Вторая структурная составляющая представляет собой смесь бронзы, полученной расплавлением порошковой связки, со сталью. Твердость ее, определяемая, по-видимому, твердостью бронзы, одинакова в первом и втором швах и совпадает с твердостью сегмента.

На рис. 3, б представлено распределение микротвердости в сварном соединении сегментов (связка 4) со сталью. На шлифе, проплавленном раствором $(FeC_{12} \cdot 4H_2O) + HCl$, можно различить четыре структурные составляющие, твердость которых не меняется

Распределение микротвердости H_V (N/mm^2) по ширине сварного соединения сегмента со сталью 65Г

Сегмент со связкой	Шаг замеров, мм												
	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	
	Сварка	Сварной шов						Основной металл					
2	211	240	607	509	526	607	526	534	526	977	938	339	328
3	250	256	566	549	549	566	586	607	566	946	977	305	312

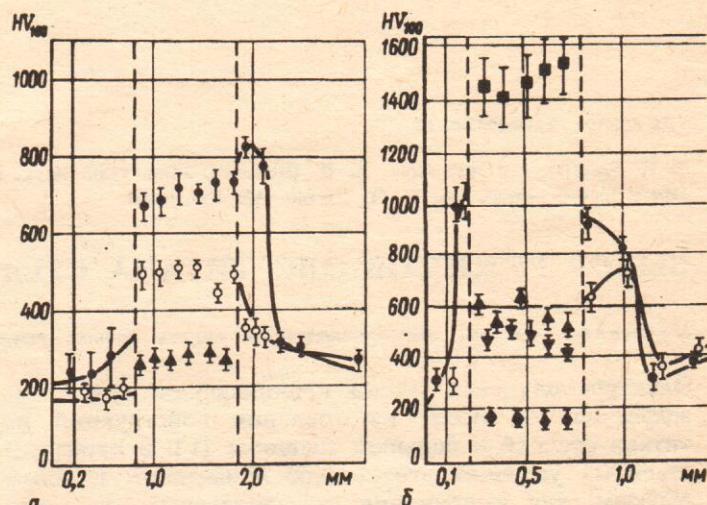


Рис. 3. Характер распределения твердости в сварном соединении сталь — сегмент: а — сегмент со связкой 1 (○ — первый шов, ● — второй шов, ▲ — эвтектика); б — сегмент со связкой 4 (○ — первый шов, □ — второй шов, ■ — светло-серая фаза, ▲ — дендриты, ▽ — эвтектика, ◆ — медь)

при втором проходе. Самая мягкая из них (твердость порядка HV 150) — медь, попадающая в шов из сегмента. Структурная составляющая, имеющая твердость HV 350..500, представляет собой ориентированные иглы различной дисперсности. В интервале HV 450..650 лежит твердость дендритной фазы, цвет которой меняется от серого до желтовато-коричневого. Самую высокую твердость (HV 1300..1600) имеют светло-серые включения, вытянутые вдоль линий перемешивания.

При сварке сегментов со связкой на основе кобальта (связки 2, 3) формируется более однородный шов. Значения микротвердости по сечению швов сварного соединения сегментов (связки 2, 3) со сталью 65Г приведены в таблице. Исследование состава металла шва соединений (связка 3), выполненные с использованием рентгеновского анализатора MAP-1, показали, что он представляет собой твердый раствор с содержанием элементов: 66 % Fe, 20 % Co, 14 % Cu.

Прочность сварных соединений оценивали на готовых отрезных алмазных кругах испытанием на изгиб. Полученные значения временного сопротивления для всех соединений составляли не менее 250 МПа.

По результатам исследований были выбраны оптимальные режимы сварки сегментов со связками 1, 2, 4. Сваренные лазером отрезные алмазные круги прошли промышленные испытания на заводе ЖБК «Метростроя» города Москвы.

1. Morin W. Lazer makes it better // Ind. Diamond Rev. — 1988. — 48, № 5. — P. 206.
2. Schneider W. Lazer welding instead of brazing // Jbid. — 1985. — 45, № 10. — P. 242.
3. Stam H. Nimbus lazer lights the way ahead // Jbid. — 1988. — 48, № 5. — P. 215-216.

Поступила в редакцию 28.01.91,
в окончательном варианте 24.06.92