

А. В. Алифанов, д-р техн. наук, ФТИ НАНБ; В. Н. Алехнович, канд. техн. наук, ФТИ НАНБ;
Н. В. Бурносос, доцент

ПАЙКА ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ПЛАСТИНОК НА ЗАГОТОВКИ ДЕРЕВОРЕЖУЩИХ ФРЕЗЕРНЫХ НОЖЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИОННОЙ ОЧИСТКИ

An experimental technology of hardalloyed plates soldering was worked out and scrutinized. At the same time one enumerated the components of recommended fluxes and solders. An advantage of preliminary cleaning of connectable elements using the ionic-method was shown.

В представляемой работе исследовался процесс изготовления фрезерных деревообрабатывающих ножей кромками из твердого сплава. Твердосплавные пластинки из сплава ВК-15, ВК-8 крепились на заготовке ножа методом пайки. Сложность процесса пайки твердосплавных пластин на основание ножа заключается в следующем:

– твердый сплав и основание ножа имеют различные коэффициенты линейного расширения (коэффициент линейного расширения стали в 2–3 раза больше коэффициента линейного расширения твердого сплава);

– твердосплавные пластинки покрыты толстым слоем окислов, которые сложно растворить даже с помощью высокоактивных флюсов.

Проведенные исследования позволили предложить для уменьшения напряжения в паяном соединении термокомпенсационную прокладку из сплава 55% Fe – 45% Ni (коэффициент линейного расширения $\approx 9 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$). Установлено, что при пайке важно обеспечить равномерный нагрев заготовки ножа со скоростью 40–50°C/с. Причем нагрев производят через основание заготовки ножа, а затем в результате теплопередачи происходит нагрев припоя, флюса и твердосплавной пластинки.

Перед пайкой основание ножа и твердосплавная пластинка очищаются от жира, окислов. Основание ножа очищают с помощью пескоструйной или дробеструйной обработки с последующим его обезжириванием.

Поверхность твердосплавной пластинки также подвергали очистке с помощью пескоструйной обработки мелкодисперсным песком или дробью диаметром 1 мм, после чего обрабатывали электрохимическим анодным травлением, в результате которого происходит электролитическое растворение пленки окислов металлов. Состав раствора для электрохимического травления твердосплавных пластинок: хлористый натрий 40–50 г/л, соляная кислота 8–10 г/л, хлористое железо 140–150 г/л. Обработка производилась при температуре 20–50°C, плотности тока 5–10 А/м² в течение 10–20 мин.

Повышение шероховатости чистой поверхности детали способствует лучшему сцеплению покрытия с подложкой. В то же время с повышением шероховатости увеличивается количество адсорбированных на поверхности примес-

ных атомов. Химическая очистка дает лучшие результаты на гладкой поверхности, чем на шероховатой. На качество покрытий влияют также остаточные напряжения в поверхности заготовки. Более эффективна для подготовки поверхности обработка ионной очисткой [1]. Она заключается в распылении материала с поверхности заготовки в результате бомбардировки ее ионами. Эффективность распыления характеризуется коэффициентом распыления S_p , равным отношению распыленных атомов к числу падающих на поверхность ионов аргона или металла. Величина коэффициента распыления обратно пропорциональна энергии поверхностной связи N_0 , т. е. атомы могут покинуть поверхность только в том случае, когда их энергия больше энергии связи. Энергия связи для железа равна 4,3 эВ, для никеля 4,4 эВ, для титана 4,9 эВ, для меди 3,5 эВ. На рис. 1 приведена зависимость коэффициента распыления для меди, железа, никеля и титана от энергии ионов аргона. Она показывает рост коэффициента распыления с ростом энергии ионов.

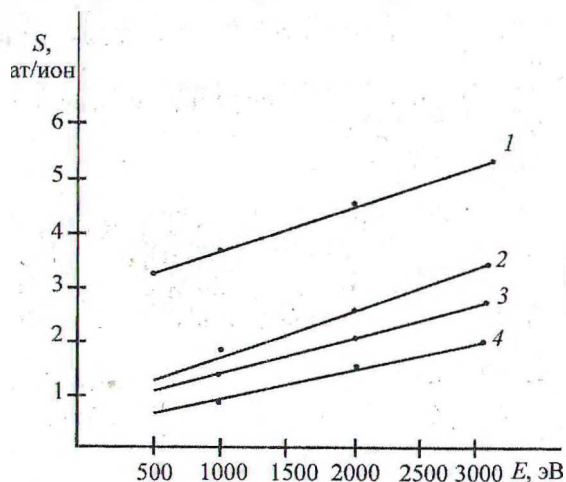


Рис. 1. Зависимость коэффициента распыления S от энергии E ионов аргона:

1 – меди; 2 – железа; 3 – никеля; 4 – титана

При увеличении угла падения ионов θ относительно нормали к поверхности происходит увеличение коэффициента распыления. Зависимость коэффициента распыления от угла падения ионов при малых углах падения имеет вид

$$S_p = S_0 \cos \theta^{-1}. \quad (1)$$

Массу вещества, распыляемого за единицу времени с единицы площади, можно определить по формуле

$$m = \frac{IS_p A}{N_A e}, \quad (2)$$

где I – плотность ионного тока на распыляемой поверхности, а/см^2 ; A – атомная масса распыляемого металла; N_A – число Авогадро; e – заряд электрона.

Таким образом, ионная бомбардировка позволяет снять поверхностный слой заготовки и активировать поверхность. Активация поверхности заготовки с помощью ионной бомбардировки обеспечивает нагрев подложки до необходимой температуры, образование дефектов в поверхностном слое, нарушение кристаллического строения, изменение морфологии поверхности и ее состава, образование легированного подслоя, снижение шероховатости поверхности. Одним из главных проявлений ионной бомбардировки является тепловой эффект, обусловленный тем, что только 5% энергии бомбардирующих ионов идет на распыление, а вся остальная часть затрачивается на нагрев заготовки.

Количество теплоты, поступающее на поверхность заготовки за время t , можно определить из выражения

$$Q = ISUt, \quad (3)$$

где I – средняя плотность ионного тока, А/м^2 ; U – потенциал подложки, В; S – площадь обрабатываемой поверхности, м^2 ; t – время обработки, с.

Теплота, которая аккумулируется в образце во время его нагрева:

$$Q_n = c\rho v(T - T_0), \quad (4)$$

где c – теплоемкость материала заготовки, $\text{Дж/кг} \cdot \text{К}$; ρ – плотность материала, кг/м^3 ; v – объем заготовки, м^3 ; T_0 – температура изделия начальная, К; T – температура изделия конечная, К.

Количество теплоты, теряемой за счет излучения в окружающую среду, определяется по формуле

$$Q = \varepsilon \sigma S_n (T^4 - T_c^4), \quad (5)$$

где σ – постоянная Больцмана ($\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}^4$); ε – степень черноты, (0,08–0,20 для температур 200–800°C); S_n – полная площадь поверхности заготовки, м^2 ; T_c – температура окружающей среды и стенок камеры, К; T – температура заготовки.

Составив уравнение теплового баланса, можно определить необходимые параметры процесса нагрева и температуры поверхности заготовки. На рис. 2 представлены графики зависимости

температуры заготовки от времени обработки для потенциалов подложки 600 и 1200 В.

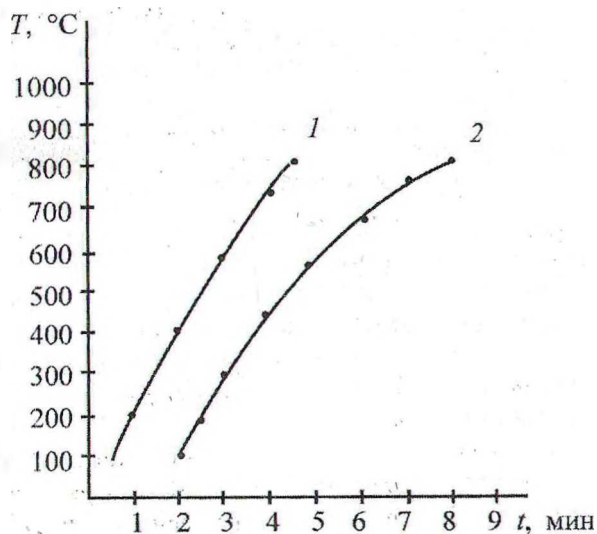


Рис. 2. Зависимость температуры поверхности при ионной бомбардировке заготовки ножа от времени ионной бомбардировки для потенциала подложки: 1 – 1200 В; 2 – 600 В

Зарядовый состав ионного компонента плазмы в зависимости от величины тока дуги представлен на рис. 3. От величины тока дуги также зависит капельная фаза в ионном потоке. Оптимальные токи дуги для процесса ионной бомбардировки составляют для катода из титана – 80–100 А; никеля – 90–110 А, меди – 90–100 А. При ионной бомбардировке поверхности заготовки металлическими ионами с энергией до $2,5 \cdot 10^3$ эВ наблюдаются следующие эффекты: 1 – интенсивная десорбция газов; 2 – распыление инородных включений, очистка; 3 – внедрение высокоэнергетических ионов в подложку, образование дефектов и активация поверхности; 4 – распыление подложки и пленки металла; 5 – повышение химической активности атомов и молекул, присутствующих в ионном потоке за счет возбуждения и ионизации; 6 – разогрев поверхности подложки до температуры установившегося режима; 7 – разогрев заготовки и установление стационарного режима.

Подложка подвергается интенсивной бомбардировке высокоэнергетическими ионами металла и остаточного газа при установившемся ее режиме, что способствует формированию развитого микрорельефа поверхности (формируются выступы высотой до 1 мкм). В результате ионной бомбардировки происходит образование переходного диффузионного слоя на поверхности заготовки. Переходный диффузионный слой характеризуется постепенным изменением состава свойств.

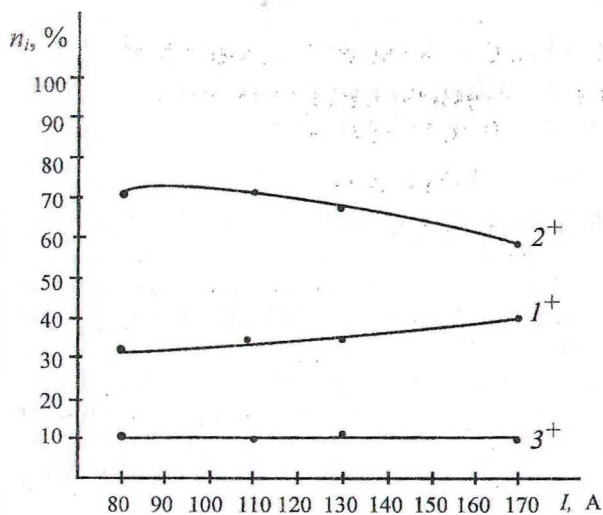


Рис. 3. Зависимость концентрации зарядовой компоненты от тока дуги

При малых скоростях движения ионов с увеличением массы падающих ионов увеличивается вероятность образования дефектов. Поэтому, когда подложка бомбардируется тяжелыми ионами металлов с энергией $0,5-10^4$ эВ, образовавшиеся дефекты структуры могут конкурировать по степени влияния на характеристики переходного слоя с процессами внедрения ионов. Переходный слой легируется атомами ионов в результате ускоренной диффузии по образованным в процессе внедрения вакансиям. Энергия активации во время передвижения атомов в этом случае уменьшается и диффузия ускоряется. Для оценки формирования псевдодиффузионного слоя проведены исследования стальной подложки, обработанной ионами меди. Исследования показали, что стальная заготовка, обработанная ионами меди, имеет псевдодиффузионный слой, толщина которого составляет 7–8 мкм. При обработке стальной заготовки ионами титана интенсивность процессов осаждения и распыления зависит от потенциала подложки. График изменения скорости осаждения металла на подложку при ионной бомбардировке в зависимости от величины потенциала, подведенного к подложке, представлен на рис. 4.

Проведенные исследования позволили установить, что процесс активации заготовки фрезерного ножа необходимо осуществлять при ускоряющемся напряжении 1200 В, давления $(6-8) \cdot 10^{-3}$ Па, токе дуги 90–95 А. Выявлено, что при обработке заготовки потоком положительных ионов в течение 5 мин происходит очистка упрочняемой поверхности от окислов. При дальнейшей бомбардировке ионами в течение еще 4 мин происходит разогрев заготовки до 600°C , и процесс активации можно прекратить.

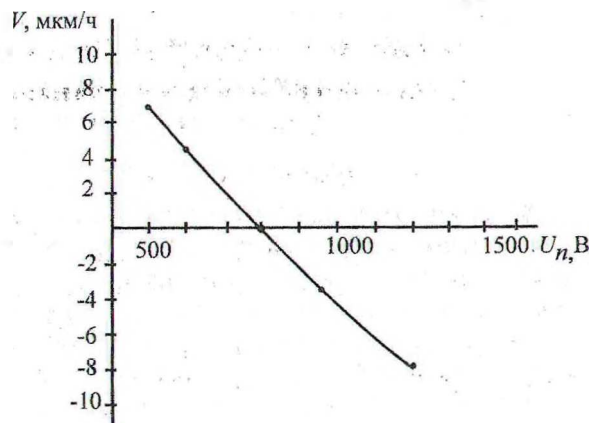


Рис. 4. Зависимость скорости формирования покрытия Ti на стальной подложке от потенциала подложки при давлении $6 \cdot 10^{-3}$ Па

Для пайки твердосплавных пластин были выбраны припой: латунь Л63 и ПСР40, имеющие температуру плавления 590°C .

В качестве флюса использован состав: фторокись калия – 20–40%, фторборат калия 15%, борная кислота 40–65%, раствор 35–60% едкого калия 5–25%), имеющий температурный интервал активности $550-950^\circ\text{C}$. При недостаточности активности этого флюса можно применять флюс другого состава: KBF_4 – 46%, $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ – 36%, WO_3 – 13%, NaCO_2 – 5%, имеющий температурный интервал активности – $900-1100^\circ\text{C}$. Перед пайкой основание ножа укрепляют на плоскости, изготовленной из огнеупорного материала, имеющего низкую теплопроводность. В паз основания ножа вносят небольшое количество флюса, укладывают компенсационную прокладку, покрывают ее слоем флюса, а сверху укладывают твердосплавную пластинку, на которую предварительно также помещают припой и флюс. Нагрев собранного узла осуществляют (с помощью газовой горелки или ТВЧ в специальном индукторе) таким образом, чтобы в первую очередь нагревалось основание ножа и затем за счет теплопроводности нагревалась твердосплавная пластинка. После прогрева для выравнивания температуры основание ножа передвигают и осуществляют нагрев места пайки до растекания припоя (прижим пластинок в этот момент уменьшают).

После пайки твердосплавные ножи подвергают отпуску при температуре $200-250^\circ\text{C}$ в течение 6 ч. Для предотвращения трещин пластинки закачивают в среде с температурой $260-320^\circ\text{C}$.

Литература

1. Вендик О. Г., Попов В. Ф., Зеленская И. В. Технология вакуумно-фазового осаждения тонких пленок. Л.: ЛДНТП, 1982. – 27 с.