

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЙ ПОЛУЧЕНИЯ СМП С ТРЕБУЕМЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

О.Ю. Ретюнский, к.т.н., доцент, зав. каф. АИ, Д.С. Глушков, студент
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (38451)-6-05-37
E-mail: retol@mail.ru

При изготовлении заготовок композиционных СМП способом, предложенным в [1], образуемая в прессформе поверхность раздела слоев в виде параболоида вращения не совпадает с характером оптимальных поверхностей раздела [2]. При этом полученный при засыпке профиль поверхности раздела искажается в процессе прессования заготовок СМП.

С целью определения условий получения СМП с требуемым распределением материалов были проведены эксперименты по исследованию влияния скорости вращения прессформы на характер границы раздела материалов при изготовлении заготовок композиционных СМП.

Эксперименты проводились с использованием описанной выше установки. Предложенным способом изготавливались заготовки двухслойных СМП. В качестве материала нижнего слоя использовался порошок быстрорежущей стали марки Р6М5К5П. В качестве материала верхнего слоя - ВК8. Верхний слой получен при частоте вращения прессформы $n_2=500$ об/мин, обеспечивающей плоскую поверхность, а нижний при различных частотах n_1 : 1000, 1250, 1500, 1750, 2000, 2250, 2500, 2750 об/мин. Для выявления границы раздела материалов использовался тонкий слой порошковой меди. После прессования квадратные брикеты разрезались по диагонали и на микроскопе ИМЦ 50-100А проводилось измерение положения границы раздела. Далее проводилась графоаналитическая обработка результатов измерения. Строилась усредненная линия положения границы раздела материалов при данной частоте вращения, аппроксимированная кривая и определялось уравнение этой линии. Затем анализировались коэффициенты в уравнениях линий границ разделов. Были построены графики, проведена их графоаналитическая обработка и определены уравнения зависимости величин коэффициентов от скорости вращения прессформы.

Напряжения, возникающие в процессе формирования инструмента и его эксплуатации, могут привести к следующим последствиям:

- ✓ снижение прочности сцепления припоя и инструментального материала;
- ✓ ухудшение физико-механических свойств припоя и композиции инструментальный материал – припой – корпус инструмента в целом;
- ✓ формирование опасных внутренних микротрещин, способных при эксплуатационных нагрузках привести к разрушению инструмента.

Для оценки остаточных и эксплуатационных напряжений используют упрощенные и экспериментальные методики, а так же метод «конечного элемента».

В качестве методов исследования авторами предложен следующий математический аппарат:

Для определения напряжений, возникающих при пайке инструмента, примем следующие допущения:

- припой «идеально» совмещен с инструментальным материалом, смещений между ними не возникает;
- материалы припоя и инструмента анизотропны и подчиняются закону Гука;
- напряжения по длине контакта одинаковы.

Тогда полную деформацию можно записать в следующем виде:

$$\varepsilon_{\Pi} = (\varepsilon_{\text{ТС}} + \varepsilon_{\Pi}) = \frac{h_{\text{ТС}}E_{\Pi}}{h_{\text{ТС}}E_{\text{ТС}} + h_{\Pi}E_{\Pi}} \quad (1)$$

где $\varepsilon_{\text{ТС}} + \varepsilon_{\Pi}$ - полная деформация после процесса пайки;

$h_{\text{ТС}}$ и h_{Π} - толщина пластинки твердого сплава и припоя соответственно;

$E_{\text{ТС}}$ и E_{Π} – модули продольной упругости пластинки твердого сплава и припоя соответственно.

Среднее значение остаточного напряжения в пластинке может быть определено следующим выражением

$$\sigma_{0\text{ТС}} = (\varepsilon_{\text{ТС}} + \varepsilon_{\Pi}) \frac{h_{\text{ТС}}E_{\Pi}}{h_{\text{ТС}}E_{\text{ТС}} + h_{\Pi}E_{\Pi}} E_{\text{ТС}} \quad (2)$$

Тогда

$$\varepsilon_{\text{ТС}} + \varepsilon_{\Pi} = \frac{P_{\text{ТС}}}{bh_{\text{ТС}}E_{\text{ТС}}} + \frac{P_{\Pi}}{bh_{\Pi}E_{\Pi}} \left(1 + \frac{h_{\text{ТС}} + h_{\Pi}}{2\rho_{\text{ТС}}}\right) + \frac{h_{\text{ТС}}}{2\rho_{\text{ТС}}} + \frac{h_{\Pi}}{2\rho_{\Pi}} \left(1 + \frac{h_{\text{ТС}} + h_{\Pi}}{2\rho_{\text{ТС}}}\right) \quad (3)$$

где $P_{ТС}$ и $P_{П}$ – растягивающие силы в осевом направлении;

b - ширина опорной площадки под пластинкой;

$\rho_{ТС}$ и $\rho_{П}$ - радиусы кривизны пластины твердого сплава и припоя соответственно.

Так как $P_{ТС} = P_{П}$, то можно записать следующее

$$M_{ТС} + M_{П} = \frac{P_{ТС}}{2} (h_{ТС} + h_{П}) \quad (4)$$

где $M_{ТС}$ и $M_{П}$ - изгибающие моменты пластинки твердого сплава и припоя соответственно.

$$M_{ТС} = \frac{E_{ТС} J_{ТС}}{\rho_{ТС}}; \quad M_{П} = \frac{E_{П} J_{П}}{\rho_{П}} \quad (5)$$

где $J_{ТС}$ и $J_{П}$ - осевые моменты инерции пластинки твердого сплава и припоя соответственно;

$E_{ТС} J_{ТС}$ и $E_{П} J_{П}$ - жесткость при изгибе пластинки твердого сплава и припоя соответственно.

При $\rho_{ТС} = \rho_{П}$ уравнение (3) можно привести к виду

$$\varepsilon_{ТС} + \varepsilon_{П} = \frac{h_{ТС}^3 E_{ТС} + h_{П}^3 E_{П}}{6\rho h_{ТС}(h_{ТС} + h_{П})} + \frac{h_{ТС}^3 E_{ТС} + h_{П}^3 E_{П}}{6\rho h_{П} E_{П}(h_{ТС} + h_{П})} + \frac{h_{ТС}^3 E_{ТС} + h_{П}^3 E_{П}}{12\rho^2 h_{П} E_{П}} + \frac{h_{П} + h_{ТС}}{2\rho} \quad (6)$$

Подставив уравнения (4) и (5) в (6) получим

$$\sigma_{0_{ТС}} = \left[\frac{h_{ТС}^3 E_{ТС} + h_{П} E_{П}}{6\rho h_{ТС}(h_{ТС} + h_{П})} + \frac{E_{ТС}(h_{ТС}^3 E_{ТС} + h_{П}^3 E_{П})}{12\rho^2 (h_{П} E_{ТС} + h_{П} E_{П})} + \frac{E_{ТС} E_{П} h_{П}(h_{ТС} + h_{П})}{2\rho (h_{ТС} E_{ТС} + h_{П} E_{П})} \right] \frac{1}{1 - \mu^2} \quad (7)$$

где μ - коэффициент Пуансона в композиции твердый сплав – припой.

Следовательно, напряжение в пластинке плоской формы будет иметь вид

$$\sigma_{0_{ТС}} = \frac{(\alpha_{ТС} + \alpha_{П}) \Delta T}{\frac{1 - \mu_{ТС}}{E_{ТС}} + \frac{1 - \mu_{П}}{E_{П}} \frac{h_{ТС}}{h_{П}}} \quad (8)$$

где $\alpha_{ТС}$ и $\alpha_{П}$ - коэффициенты линейного расширения материала твердого сплава и материала припоя соответственно;

ΔT - разница температуры окружающего воздуха и температуры пайки;

$\mu_{ТС}$ и $\mu_{П}$ - Коэффициенты Пуансона для твердого сплава и припоя соответственно.

На основании анализа уравнений (7) и (8) можно сделать вывод о том, что согласование свойств припоя и твердого сплава прежде всего сводится к максимальному снижению разности коэффициентов линейного расширения $\alpha_{ТС}$ и $\alpha_{П}$. Однако, обеспечить равенство этих коэффициентов практически невозможно, поэтому необходимо хотя бы соблюдать условие $\alpha_{ТС} < \alpha_{П}$. В этом случае в пластинке твердого сплава возникают напряжения сжатия, которые менее опасны с точки зрения возникновения хрупких трещин как на границе раздела твердый сплав- припой, так и по объему твердого сплава.

К уменьшению напряжений в твердом сплаве и на границе твердый сплав – припой приводит и снижение величин параметров $E_{ТС}$, $E_{П}$ и $\mu_{ТС}$, $\mu_{П}$ (7), так как при этом увеличивается жесткость инструмента и его способность сопротивляться упругим и пластическим деформациям.

Особенно опасны напряжения, возникающие в твердом сплаве при резкой смене температур на контактных площадках инструмента, что характерно для прерывистых процессов резания, обработке с заметными колебаниями припуска (в частности по наплавленной поверхности). Развивающиеся в твердом сплаве напряжения в этом случае можно оценить критерием Био [2].

$$Bi = \frac{h_{ТС} \chi}{2\lambda_{ТС}} \quad (9)$$

где $h_{ТС}$ - толщина пластинки твердого сплава;

χ - коэффициент теплообмена между окружающей средой и инструментом;

$\lambda_{ТС}$ - теплопроводность твердого сплава.

Согласно критерию Био снижение термических напряжений в твердом сплаве может быть достигнуто при росте теплопроводности твердого сплава $\lambda_{ТС}$ и инструмента в целом или уменьшением толщины пластинки.

На рис. 1 представлены результаты графоаналитической обработки результатов экспериментов. Линия границы раздела материалов в композиционной СМП аппроксимировалась параболой, имеющей уравнение вида:

$$y = a \cdot x^2 + c, \quad (10)$$

где y и x - координаты, соответственно высоты и ширины по диагонали СМП, a и c - коэффициенты, зависящие от скорости вращения прессформы.

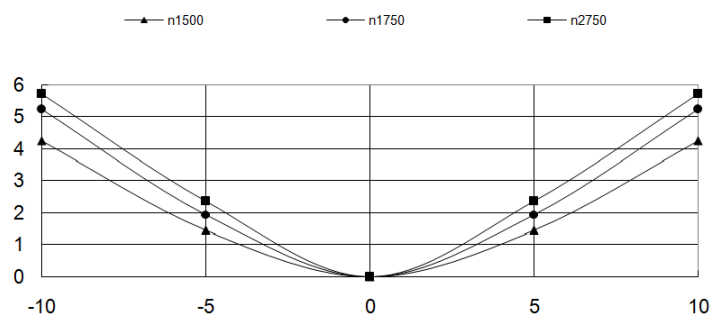


Рис. 1. Влияние скорости вращения прессформы на форму границы раздела фаз

Для определения общей закономерности рассеивания материалов в прессформе были построены графики изменения коэффициентов уравнения парабол от скорости вращения. Проведена их аппроксимация полиномом третьей степени и выведены уравнения зависимости величины коэффициентов. Результаты представлены на рис. 2. Получены следующие зависимости:

$$a = -2,3095 \cdot 10^{-11}n^3 + 1,3041 \cdot 10^{-7}n^2 - 2,2659 \cdot 10^{-4}n + 0,1684, \quad (11)$$

$$c = 5,8962 \cdot 10^{-10}n^3 - 3,5518 \cdot 10^{-6}n^2 + 7,1158 \cdot 10^{-4}n - 4,3544, \quad (12)$$

где n - частота вращения прессформы. Подставив (2) и (3) в (1) получим уравнение зависимости границы раздела материалов композиционной СМП от скорости вращения прессформы во время засыпки порошков:

$$y = (-2,3095 \cdot 10^{-11}n^3 + 1,3041 \cdot 10^{-7}n^2 - 2,2659 \cdot 10^{-4}n + 0,1684)x^2 + (5,8962 \cdot 10^{-10}n^3 - 3,5518 \cdot 10^{-6}n^2 + 7,1158 \cdot 10^{-4}n - 4,3544). \quad (13)$$

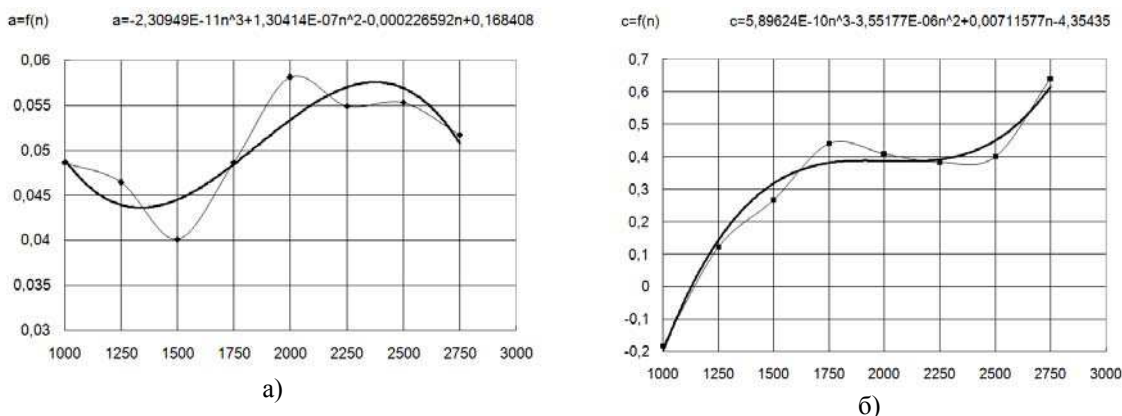


Рис. 2. Зависимость коэффициентов уравнения парабол от скорости вращения прессформы: а) коэффициент a ; б) коэффициент c

Для практической реализации способа необходимо решить обратную задачу, т.е. зная координаты точек границы раздела определить с какой скоростью вращать прессформу.

Литература.

1. Петрушин С.И. Теоретические основы оптимизации режущей части лезвийных инструментов. Дисс...докт.техн.наук: 05.03.01. - Защищена 1.07.98; Утв.20.11.98 - Юрга.: 1998. - 362 с.
2. Петрушин С.И. Проектирование режущей части инструментов из композиционных материалов.// СТИН. - 1997, - № 2. - С. 26-29.
3. Retyunsky O. Y. Method of making composit reversidle cutting plates // Applied Mechanics and Materials. - 2013 - Vol. 379. - p. 24-27
4. Valentov A. V. , Konovodov V. V. , Agafonova E. V. Forecasting residual and operating stress in soldering cutting tools with tungsten-free alloy inserts // Applied Mechanics and Materials. - 2013 - Vol. 379. - p. 28-31