

АНАЛИЗ ТЕПЛО ВЫДЕЛЕНИЯ ОТ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ В ЗОНЕ СОЕДИНЕНИЯ ПРИ ПЛАКИРОВАНИИ

Н. В. Селивончик, Ю. Л. Бобарикин, Н. И. Базилеева, В. Ф. Буренков

*Гомельский государственный технический университет
им. П. О. Сухого, Республика Беларусь*

Процесс нанесения на металлическую основу металлического слоя покрытия путем совместной пластической деформации основы и плакирующего материала является достаточно перспективным вследствие высокой производительности и малой энергоемкости.

Проблемы надежности соединения между слоем покрытия и основой достаточно актуальны, так как именно качество этого соединения во многом обеспечивает эксплуатационные характеристики получаемого материала.

Качество соединения между плакирующим и плакируемым материалом в значительной степени зависит от температуры в процессе их соединения пластической деформацией. Поэтому анализ величины тепловыделения от пластической деформации в зоне соединения при плакировании требует специального изучения. Это особенно актуально в случаях осуществления плакирования без дополнительного нагрева обрабатываемых материалов.

Следует отметить, что энергия, расходуемая на процесс плакирования и передаваемая от рабочих инструментов на совместно пластически деформируемые металлы, т.е., расходуемая на пластическую деформацию, перераспределяется на несколько энергий: на тепловую энергию, выделяемую вследствие контактного трения между инструментом и деформируемыми металлами, а также между соединяемыми поверхностями в случае наличия скольжения между ними. Эту часть энергии можно назвать фрикционным тепловыделением; на тепловую энергию, выделяемую вследствие диссипации энергии пластической деформации, т.е., ее переход в тепло по всему объему деформируемых тел. Эту часть энергии можно назвать деформационным тепловыделением, и на увеличение внутренней потенциальной энергии упругих деформаций. Эту часть энергии можно назвать энергией упругих деформаций. Таким образом, энергия пластической деформации перераспределяется на фрикционное тепловыделение, деформационное тепловыделение и на увеличение энергии упругой деформации.

Таким образом, часть любой механической энергии деформации превращается в теплоту. И это превращение по теории К.А.Кочергина [1] физически определяется сдвигами относительно друг друга элементарных кристаллов, зерен (кристаллитов), макроскопических объемов металла. Согласно его теории сдвиг металла в целом подчиняется макромаштабным измерениям и поэтому может оцениваться величиной температуры

$$T_{сдв} = \frac{1}{2 \cdot \gamma \cdot c \cdot t_{сдв} / (\eta \cdot \epsilon^2) + 1/T_{nl}}, \quad (1)$$

где $t_{сдв}$ – время межзеренного сдвига; γc – энтальпия металла; ϵ – относительная деформация (0.5–0.7); η – динамическая вязкость; $\eta = \eta_0 (1 - T/T_{nl})$, где η_0 – удельная динамическая вязкость.

Эта формула используется, если речь идет о некоторых объемах металла или о контактных плоскостях, где нагретые слои по толщине много больше, чем размеры элементарных кристаллов. Если же рассматривается чисто плоскостной сдвиг, то

$$T_{\Delta} = \frac{1}{6 \cdot k \cdot n \cdot t_{сдв} / \eta_c + (1/T_{nl})}, \quad (2)$$

где k – постоянная Больцмана; n – число атомов в 1см^3 .

Эта формула позволяет оценить значение той мгновенной вспышки температуры в плоскости контакта, при которой и происходит схватывание металлов.

Недостатками формул (1)–(2) является то, что величина температуры в контакте поставлена в зависимости от времени межзеренного сдвига, что затрудняет практическое использование этих формул. В данных формулах учитывается только межзеренный сдвиг, что неправомерно, т.к. присутствует и внутризеренный сдвиг, роль которого более существенна в механизме пластической деформации металлов.

Пластическая деформация металла происходит в результате размножения и движения дислокаций. То есть, при соединении материалов в твердой фазе на контактную поверхность выходят дислокации. В этих местах на контактных поверхностях возникают активные центры. Соединяемые металлы при плакировании испытывают пластическую деформацию, которая сопровождается выделением теплоты. Величина подогрева зависит от интенсивности пластической деформации. Тогда согласно теории Ю. Л. Красулина [2] и теории теплопроводности температура нагрева в зоне контакта разнородных материалов определяется:

$$T = \frac{2 \cdot q \sqrt{a_1 \cdot a_2 \cdot t}}{\lambda_1 \sqrt{a_2} + \lambda_2 \sqrt{a_1}}; \quad q = \rho_g \cdot q_g, \text{ Дж/м}^2\text{с} \quad (3)$$

где ρ_g – плотность дислокаций на поверхности металлической основы в зоне соединения с порошковым слоем, м^{-2} ; q_g – тепловая мощность элементарного источника тепла в месте выхода дислокации к поверхности в зоне соединения с учетом времени выделения этой мощности, равного порядка 10^{-11} с., $q_g = 4.56 \cdot 10^{-9}$ Дж/с; где a_1 – температуропроводность металла плакируемой основы, $\text{м}^2/\text{с}$; a_2 – температуропроводность металла плакирующего слоя, $\text{м}^2/\text{с}$; λ_1 – теплопроводность металла плакируемой основы, $\text{Вт/м} \cdot \text{К}$; λ_2 – теплопроводность металла плакирующего слоя, $\text{Вт/м} \cdot \text{К}$; t – время процесса совместного пластического деформирования металлической основы и порошка плакирующего покрытия, с.

Недостатками этой зависимости является то, что отсутствует взаимосвязь величины температуры на контакте от скорости деформации, что также затрудняет использование этой зависимости.

Для устранения этого недостатка предложено ввести зависимость плотности дислокации от скорости деформирования. Для этого выразим величину ρ_g от скорости деформирования:

$$\rho_g = \frac{\gamma}{b \cdot \vartheta_g}, \text{ м}^{-2} \quad (4)$$

где γ – скорость деформации сдвига на поверхности контакта металлической основы с порошком, с^{-1} ; b – вектор Бюргерса, м; ϑ_g – средняя скорость пробега дислокаций, м/с.

Величину ϑ_g можно определить из [3]:

$$\vartheta_g = \frac{\vartheta_n \cdot \gamma_{\max} \cdot (\gamma_{\max} + 2) \cdot 10^6}{2 \cdot l \cdot b \cdot \rho_g \cdot (\gamma_{\max} + 1)}, \text{ м/с} \quad (5)$$

где ϑ_n – скорость процесса деформирования, м/с; l – длина очага деформации, м; γ_{\max} – максимальная угловая деформация на поверхности металлической основы в зоне соединения, $\gamma_{\max} = \sqrt{3} \cdot \varepsilon_{\max}$, где ε_{\max} – максимальная главная деформация.

Исходя из (4)

$$\gamma = \rho_g \cdot b \cdot \vartheta_g, \text{ с}^{-1}. \quad (6)$$

Подставляя в (6) выражение (5), получим:

$$\gamma = \frac{\vartheta_n \cdot \gamma_{\max} \cdot (\gamma_{\max} + 2) \cdot 10^6}{2 \cdot l \cdot (\gamma_{\max} + 1)}, \text{ с}^{-1}. \quad (7)$$

Скорость пробега дислокаций определяется по формуле [4,5]:

$$\vartheta_g = \vartheta_{zg} \cdot \exp\left(-\frac{A}{\tau \cdot T}\right), \text{ м/с} \quad (8)$$

где ϑ_{zg} – скорость звука в материале, где движутся дислокации, для металла $\vartheta_{zg} = 5 \cdot 10^3$ м/с; τ – действующее касательное напряжение в зоне образования соединения, мПа; T – абсолютная температура в очаге деформации, К; A – константа материала, мПа · К.

Величина τ определяется для конкретной схемы деформации.

Подставляя выражения (7) и (8) в (4), получим:

$$\rho_g = \frac{\vartheta_n \cdot \gamma_{\max} \cdot (\gamma_{\max} + 2) \cdot 10^6}{2 \cdot l \cdot (\gamma_{\max} + 1) \cdot b \cdot \vartheta_{zg} \cdot \exp\left(-\frac{A}{\tau \cdot T}\right)}, \text{ м}^{-2}. \quad (9)$$

Анализ зависимости (9) совместно с (3) показывает, что при постоянных физико-механических характеристиках обрабатываемых материалов величина нагрева в зоне соединения при плакировании тел тем больше, чем выше скорость деформирования, сдвиговая деформация и время процесса деформирования. Это подтвердилось проведением экспериментальных исследований по плакированию обратным выдавливанием, а также может качественно соответствовать практическому опыту.

Литература

1. Кочергин К.А. Контактная сварка. – Л.: Машиностроение, 1987.
2. Красулин Ю.Л., Назаров Г.В. Микросварка давлением. – М.: Metallurgia, 1976. – 160 с.
3. Смирнов В.С. Теория обработки металлов давлением. – М.: Metallurgia, 1973. – 496 с.
4. Фридель Ж. Дислокации / Пер. с франц. – М.: Мир, 1967. – 643 с.
5. Новиков И. И. Дефекты кристаллической решетки металлов. – М.: Metallurgia, 1968.

КРИТЕРИИ И ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА РАБОТЫ МОЛОТИЛЬНЫХ АППАРАТОВ СОВРЕМЕННЫХ ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ

А. Я. Машук, П. Е. Голушко

Гомельский государственный технический университет
им. П. О. Сухого, Республика Беларусь

В настоящее время на современных зерноуборочных комбайнах применяются молотильные аппараты с барабанами бичевого типа. Их применяют при уборке зерновых и бобовых культур, подсолнечника, кукурузы, семенников трав. Продолжительность процесса обмолота невелика: обмолачиваемый материал проходит через молотильную камеру примерно за 0,03...0,05 с. При этом качество работы молотильных аппаратов должно соответствовать установленным агротехническим требованиям, которые характеризуются количеством зерна, оставшегося не вымолоченным, и количеством поврежденного зерна в процентах к общему его количеству (для посевного материала зерновых культур – 1%, продовольственного – 2%; для бобовых культур – 3%; для риса – 5%). Повреждения зерна могут быть как значительными и легко определяемыми, так и незначительными и трудно определяемыми. Между тем, даже микроповреждения зерен существенно ухудшают посевные качества зерна и при-