

**Анализ условий схватывания частиц меди и медных сплавов с поверхностью углеродистой стали при прокатке**

Минько Д.В., Апишев В.В.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время, наряду с известными усовершенствованными технологическими процессами получения композиционных полуфабрикатов, в металлургии отводят место такой технологии, как сварка давлением. Она основана на интенсивной пластической деформации металлов без нагрева, что позволяет сваривать термически разупрочняемые металлы без снижения механических свойств вблизи зоны сварного шва. Известно, что поверхность металла покрыта окисными плёнками, адсорбированными газами, органическими молекулами. Сварка давлением происходит в результате разрушения этих слоёв и развития физического контакта между чистыми поверхностями двух металлов.

К процессу холодной сварки, в том числе относят плакирование прокаткой стальной основы порошками других металлов, что позволяет получать композиционный многослойный материал, используемый в дальнейшем для изготовления подшипников скольжения, ленточных тормозов, изделий с защитными покрытиями, фторопластовые антифрикционные ленты и т.п. Обычно в качестве антифрикционного материала применяют баббиты, алюминиевые и медные сплавы [1]. Такой метод нанесения покрытия является высокопроизводительным и имеет малую энергоёмкость вследствие отсутствия печного спекания порошка. Основной проблемой данной технологии является получение качественного схватывания частиц меди со стальной лентой, так как качество соединения во многом обеспечивает эксплуатационные характеристики получаемого соединения.

Целью исследования является анализ условий, благодаря которым осуществляется схватывание частиц меди со стальной полосой методом прокатки.

В работах [2, 3] приведено условие получения качественного соединения между слоями биметалла при объёмном взаимодействии для сварки с усилиями различной степени интенсивности. В [4] это условие использовали для аналитического определения адгезии при плакировании прокаткой, которое имеет вид:

$$t_d \geq t_a \geq t_p, \quad (1)$$

где  $t_d$  – время совместной пластической деформации;  $t_a$  – время активации поверхности менее деформируемой основы в зоне соединения;  $t_p$  – время релаксации остаточных напряжений в покрытии.

Авторами аналитически определена интенсивность сдвиговой деформации  $\gamma_i$  на контактной плоскости деформируемой основы для зон отставания и опережения; из уравнения теплового баланса  $Q_i$  получена формула для определения средней температуры в очаге деформации при прокатке.

С целью подтверждения возможности практического использования полученного аналитического условия были проведены эксперименты с нанесением алюминиевого, никелевого и хромового порошка на поверхность полосы из стали 08 кп шириной 15 мм, и толщиной 1,5 мм при одинаковых режимах прокатки: скорости  $\vartheta_{II} = 2,2$  мм/с, и относительном обжатии  $\varepsilon = 15$  %.

Эксперименты показали, что при одинаковых режимах прокатки и при температуре, равной комнатной, происходило отслоение всех материалов покрытия от стальной полосы (в работе не уточняется то, как подготавливалась поверхность). При анализе причин отслоения использовали условие (1), где учли все параметры, определяющие основные компоненты этого условия. Во всех трёх случаях условие не выполнялось.

Для устранения отслоения для всех приведенных материалов была увеличена начальная температура прокатки до  $T_0 = 867$  К, что поспособствовало адгезии между покрытием из

алюминиевого порошка и основой и соблюдению условия (1), однако для покрытий из порошков никеля и хрома увеличение  $T_0$  и условие (1) не было соблюдено, что не поспособствовало адгезии.

В работе [5] определяли продолжительность релаксации напряжений  $t_p$  с использованием выражения:

$$t_p = t_0 \exp\left(\frac{U}{RT}\right), \quad (2)$$

где  $t_0$  – период собственных колебаний атомов около равновесного положения;  $U$  – энергия активации процесса, контролирующего релаксацию внутренних напряжений;  $R$  – универсальная газовая постоянная;  $T$  – средняя объемная температура в очаге деформации [2].

Время релаксации  $t_p$  определяли при плакировании прокаткой пластины из стали 08 кп толщиной 5 мм медным порошком марки ПМС-1 при температуре 20 °С. Теоретическая зависимость (1) для  $t_p$  при этом хорошо согласовывалась с результатами эксперимента.

Подготовка поверхностей материалов, подвергаемых холодной прокатке, является одним из основных критериев для их успешного схватывания. В работах [6, 7] продемонстрированы примеры подготовки поверхности, применяемые на производстве. К ним относятся:

- механическая зачистка вращающимися стальными щётками до металлического блеска или шабрением;
- обезжиривание поверхности;
- сушка поверхности;
- нанесение твёрдых гальванических покрытий.

Условие (1) дает возможность учитывать при плакировании прокаткой используемые материалы и технологические режимы, которые в последующем можно будет корректировать для достижения необходимой адгезии между слоями биметалла, и использовать это условие непосредственно при плакировании частицами меди и медных сплавов. Также стоит учитывать необходимость подготовки поверхности для лучшего схватывания частиц меди и углеродистой стали.

## Литература

1. Кобелев, А.Г. Технология слоистых металлов / А.Г. Кобелев, И.Н. Потапов, Е.В. Кузнецов. – М.: Металлургия, 1991. – 248 с.
2. Каракозов Э.С., Орлова Л.М., Пешков В.В. Диффузионная сварка титана. - М.: Металлургия, 1977. – 272 с.
3. Бобарикин Ю.Л., Стрикель Н.И., Урбанович А.М. Основные закономерности плакирования стали прокаткой металлическими порошками // Материалы, технологии, инструменты. – 2000. – Т. 5. – № 1. – С. 62-65.
4. Селивончик, Н.В. Анализ условия достижения адгезии между слоями биметалла при плакировании прокаткой / Н.В. Селивончик, Ю.Л. Бобарикин // Вестн. Гомельск. гос. техн. ун-та им. П.О. Сухого. – 2003. – № 1. – С. 29 – 38.
5. Бобарикин, Ю.Л. Определение продолжительности релаксации напряжений в покрытии при плакировании прокаткой / Ю.Л. Бобарикин, Н.В. Иноземцева, А.М. Урбанович // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В: Прикладные науки. Промышленность. – 2008. – № 2. – С. 102-106.
6. Изготовление сталевонзового биметалла холодным плакированием / А.В. Колмаков, Ю.В. Плужников, А.П. Пудовкин, В.Н. Чернышов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2003. – Т. 9. – № 4. – С. 698-703.
7. Стройман, И.М. Холодная сварка металлов / И.М. Стройман. – Л.:Машиностроение : Ленингр. отд-ние, 1985. – 224 с.