

тов, сорбентов, облегченного древесно-минерального композиционного материала теплоизоляционно-конструкционного назначения.

Таким образом, несмотря на тяжелое финансовое положение, ОАО «Витебскдрев» проводит целенаправленную работу по расширению областей использования низкосортной древесины, древесных отходов и сточных вод.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Новые технологии рециклинга вторичных ресурсов: Материалы докладов Международн. научно-техн. конф. – Мн.: БГТУ, 2001.
2. Основные положения программы социально-экономического развития Республики Беларусь на 2001–2005 года. – Мн., 2001.
3. Грошев И.М. и др. Использование растворимых продуктов сточных вод производства КФС в качестве дезинфектантов // Новые технологии рециклинга вторичных ресурсов: Материалы докладов Международн. научно-техн. конф. – Мн.: БГТУ, 2001. – С. 84–89.

УДК 621.765

А.В. Алифанов, д-р техн. наук; В.В. Алехнович, инженер (ФТИ НАНБ);  
Н.В. Бурносков, доцент

#### КОМПЛЕКСНЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ КРИТЕРИЙ СХВАТЫВАНИЯ МЕТАЛЛОВ

The discussion is made of the mechanisms responsible for metal adhesion which combine the major concepts of existing adhesion hypotheses.

В дереворежущих инструментах широко используются биметаллические конструкции. Нанесение на режущие кромки износостойких материалов (стеллиты, сормаиты и др.) требует соблюдения специальных технологий, обеспечивающих надежное и качественное соединение разнородных металлов. Учитывая выводы многих исследователей о необходимости достижения поверхностных энергий соединяемых металлических поверхностей какого-то порогового значения для осуществления схватывания, можно записать энергетическое условие для схватывания металлов в виде

$$A_{П1} + A_{П2} < A_{СХВ}, \quad (1)$$

где  $A_{П1}$  и  $A_{П2}$  – поверхностные энергии соединяемых тел,  $A_{СХВ}$  – энергия схватывания, необходимая для осуществления схватывания соединяемых тел.

В общем виде с учетом положений и выводов различных гипотез схватывания выражение для  $A_{СХВ}$  можно записать следующим образом:

$$A_{СХВ} = A_{П1} + A_{ФК} + A_{МЕТ} + A_{ХИМ} + A_{ДИФ}, \quad (2)$$

где  $A_{П1}$  – энергия, необходимая для разрушения окисных и других адсорбированных пленок,  $A_{ФК}$  – энергия, необходимая для смятия шероховатостей на контактных поверхностях и сближения этих поверхности на расстояние межатомных взаимодействий, то есть для установления физического контакта;  $A_{МЕТ}$  – энергия, необходимая для установления металлических (в случае однородных металлов) связей;  $A_{ХИМ}$  – энергия, необходимая для установления химических (в случае неоднородных металлов) связей;  $A_{ДИФ}$  – энергия диффузионных процессов.

Естественно предположить, что в зависимости от свойств соединяемых металлов и условий их контактирование будет меняться.

В случае сближения контактирующих поверхностей путем тангенциального сдвига, наиболее характерного для большинства процессов ОМД, выражение для  $A_{СХВ}$  — можно записать следующим образом:

$$A_{СХВ} = \frac{k_2 \cdot S \cdot F_{ФК}}{I}, \quad (3)$$

где  $k_2$  — сопротивление сдвигу менее прочного тела;  $S$  — расстояние, на которое должно переместиться одно из контактируемых тел для установления связей;  $F_{ФК}$  — площадь физического контакта двух поверхностей;  $I$  — механический эквивалент теплоты.

Учитывая (1), соотношение (3) примет вид

$$A_{П1} + A_{П2} < \frac{k_2 \cdot S \cdot F_{ФК}}{I}, \quad (4)$$

или

$$\frac{A_{П1} + A_{П2}}{k_2 \cdot S \cdot F_{ФК}} I \leq I. \quad (5)$$

На основании (1–5) предложена методика для определения температурно-силовых параметров схватывания. Для этого в системе координат давление–температура проведены прямые, характеризующие склонность к схватыванию определенных металлов. Точки пересечения этих прямых с осью температур являются точками плавления для соответствующих металлов, причем углы наклона прямых к оси температур  $\beta$  характеризуют отношения суммы поверхностных энергий контактирующих металлов к энергии схватывания:

$$\cos \beta = \frac{A_{П1} + A_{П2}}{A_{СХВ}} \leq 1. \quad (6)$$

Из (6) следует, что при  $\cos \beta = 1$  угол  $\beta = 0^\circ$ , а при  $\cos \beta = 0$  угол  $\beta = 90^\circ$ .

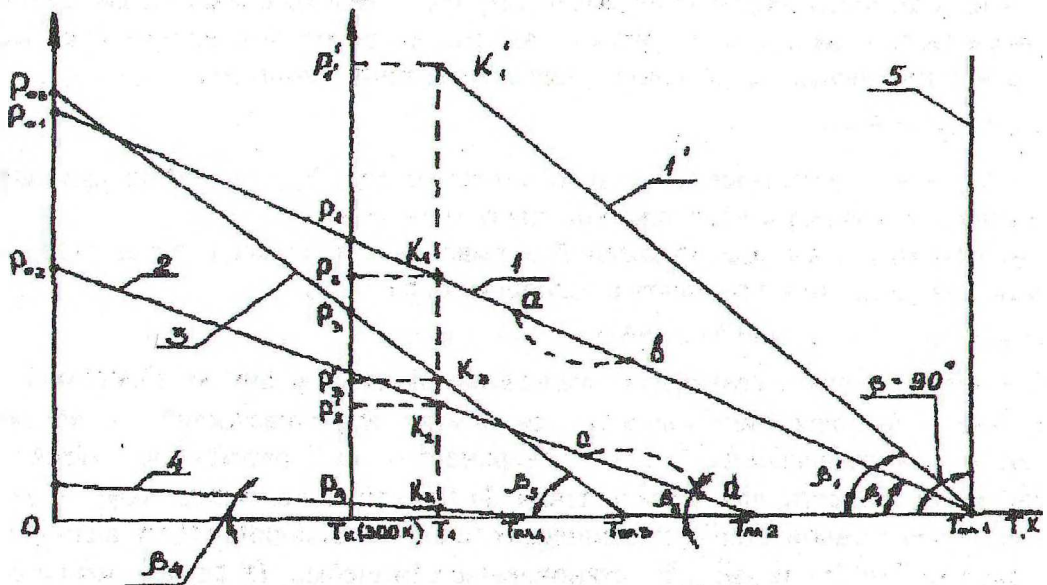


Рис. Схема для определения температурно-силовых параметров схватывания металлов

Зная температуру плавления металла и решив уравнение (6) относительно  $\cos \beta$ , можно (рис.) провести из точки  $T_{пл}$  на оси температур прямую, например прямую 1, под углом  $\beta_1$ . В случае сварки давлением однородных металлов для того, чтобы выбрать необходимые для нее температуру и давление (степень деформации), надо, исходя из технологических соображений, выбрать определяющий параметр, например температуру  $T_1 > T_K$ , где  $T_K$  – комнатная температура, равная 300 К. Из точки  $T_1$  на оси температур проведем перпендикуляр к последней и точку ее пересечения  $1c1$  с наклонной прямой 1 спроектируем на ось давлений (деформаций).

Например, для металла, соответствующего прямой 1, при температуре  $T_1$  необходимо приложить давление  $P_1$ , а при комнатной температуре ( $T_K \approx 300$  К) – давление  $P_1 > P_2$ . Соответственно и для заданного давления можно определить необходимую температуру.

Следует отметить, что применяемые для холодной сварки металлов давления и температуры (кстати, температура может значительно повыситься в процессе деформации или трения) и являются той дополнительной энергией  $A_{доп}$ , активизирующей поверхностную энергию, благодаря которой выполняется условие равенства (5);

$$A_{п1} + A_{п2} + A_{доп} = A_{схв} \quad (7)$$

и происходит процесс схватывания (сварки) металлов. Из рис. видно, что схватывание возможно и при очень низких температурах: чем меньше угол  $\beta$  (т.е. чем ближе значение  $\cos \beta$  к единице), тем меньше разница необходимых давлений при положительных и отрицательных (относительно  $0^\circ\text{C}$ ) температурах (прямая 4). Такая возможность подтверждается результатами работ по сварке очень чистого серебра в диапазоне температур от 293 К до 103 К. Согласно экспериментам степень деформации, необходимая для схватывания в этом диапазоне температур, увеличивается незначительно.

Кстати, если  $\beta = 0^\circ$ , все прямые, характеризующие способности металлов к схватыванию, сольются с осью температур, из чего можно сделать вывод, что схватывание в этом случае произойдет без приложения давлений. Теоретически и это возможно. Известны опыты И. В. Обреимова по расщеплению и срачиванию слюды, Н.Д. Голего – по схватыванию в вакууме электролитически осажденных на стеклянные палочки металлов практически без приложения нагрузки. Это доказывает, что при абсолютно чистых и ровных контактирующих поверхностях однородных металлов (материалов) их соединение (схватывание) может быть получено только за счет поверхностной энергии, без приложения нагрузок. В этих случаях выполняется условие Б.Я. Пинеса в несколько преобразованном виде:

$$\frac{A_A + A_B}{A_{AB}} > 1,$$

которое гласит о том, что адгезия двух тел А и В (а в нашем случае схватывание) возможна только тогда, когда сумма поверхностных энергий тел А и В больше поверхностной энергии образовавшегося контакта АВ, т.е. любая система стремится принять такое состояние, при котором свободная энергия минимальна.

Из рис. видно также, что один металл, имеющий температуру плавления меньшую, чем другой (например, прямые 2 и 3, у которых ( $T_{пл2} > T_{пл3}$ )), требует для сварки большего давления ( $P_2 < P_3$ ), хотя принято считать, что легкоплавкие металлы легче схватываются, чем тугоплавкие. Это можно объяснить большей прочностью (например,

у алюминия) или, наоборот, вязкостью окисных пленок у металла 2 по сравнению с металлом 3, строением кристаллических решеток и другими факторами.

Для реальных металлов зависимости между давлением и температурой будут отображаться не в виде прямых, а более сложными кривыми. Например, «горб» *cd* на прямой 2 соответствует интервалу температур, при которых увеличивается статистический вес атомных стабильных конфигураций (СВАСК) и ухудшается способность к схватыванию, несмотря на повышение температуры. А «впадина» *ab* на прямой 1 соответствует температуре рекристаллизации и скачкообразному уменьшению необходимого для схватывания давления.

Учитывая большое разнообразие современных представлений о способности к схватыванию разнородных металлов и сплавов, в данной схеме способность к схватыванию пары металлов определяется свойствами более тугоплавкого металла. Таким образом, необходимое давление (степень деформации) для свариваемых металлов, характеризуемых, например, прямыми 1 и 3 (рис.), при выбранной температуре  $T_1$  определится согласно прямой 1, соответствующей более тугоплавкому металлу; но в случае соединения металлов 2 и 3 – по прямой 3, т.к. температуре  $T_1$  для схватывания металла 3 требуется большее давление ( $P_d' > P_3'$ ), хотя металл 2 более тугоплавкий, чем металл 3.

Можно попытаться (для рассмотренных случаев) уменьшить углы  $p_1$  и  $p_2$  совмещения точек  $K_1$  с  $K_2$  и  $K_3$  с  $K_2$  путем активации поверхностей одним из известных способов: очисткой поверхностей от окисных пленок и загрязнений, наклепом, обезуглероживанием поверхностей и т.п.

Из рис. можно сделать вывод о том, что если один из металлов находится в жидком состоянии (точка  $K$  совпадает с  $T_{пл}$  на оси температур), то он приварится к другому металлу, находящемуся в твердом состоянии, при значительно меньших давлениях, чем в твердой фазе, если только температуры плавления обоих металлов не слишком различаются. Если же оба металла находятся в расплавленном состоянии, то они образуют соединение даже без приложения каких-либо давлений. То есть это дает основание утверждать, что, повышая температуру соединяемых металлов (или их поверхностей) до температуры плавления, можно добиться схватывания практически любых металлов и сплавов. Однако нельзя забывать, что, как отмечал А.С. Гельман, принципиальная возможность схватывания тех или иных металлов еще не означает, что всегда можно получить их работоспособное сварное соединение.

В то же время другой автор исследований в области сварки металлов давлением Е.И. Астров утверждает, что два металла, один из которых находится в жидком состоянии, а другой – в твердом и которые практически нерастворимы ни в твердом, ни в жидком состоянии, тем не менее образуют сварные соединения.

Величину необходимого для схватывания металлов давления можно во всех случаях соединения однородных и разнородных металлов существенно уменьшить путем применения различных методов активации поверхностной энергии, что на рис. отразится уменьшением углов наклона  $\beta$  соответствующих прямых 1–5.

В случае разработки процессов холодного деформирования металлов, в которых схватывание играет отрицательную роль, для определения вероятности схватывания инструмента и заготовки приведенную на рис. схему можно использовать следующим образом (наличие смазочных прослоек в данном случае не учитывается): из точек плавления на оси температур, соответствующих материалам инструмента и заготовки, не-

обходимо провести прямые, например 1 и 3, под углами  $\beta_1$  и  $\beta_3$  определенными из формулы (6). Далее из точки на оси давлений, соответствующей расчетному удельному давлению на инструмент (или степени деформации заготовки), провести перпендикуляр до пересечения с перпендикуляром, проведенным из точки на оси температур, соответствующей расчетной температуре на контактной поверхности. Если точка пересечения перпендикуляров лежит выше прямой 1, соответствующей инструменту, то схватывание неизбежно. Если же искомая точка находится в пространстве, ограниченном прямой 1 (инструмент) и прямой 2 (заготовка), можно считать схватывание вероятным. А в случае расположения точек пересечения перпендикуляров ниже прямой 2, соответствующей заготовке, схватывания скорее всего не произойдет.

Увеличивая твердость инструмента (на рис. прямая 1 занимает положение прямой 1'), можно уменьшить вероятность схватывания.

Прямая 5 на рис. соответствует случаю, когда отношение

$$\cos\beta = (A_{П1} + A_{П2}) / A_{СХВ} \rightarrow 0.$$

Для процессов холодного деформирования металлов это означает, что инструмент и заготовка в течение всего процесса деформирования надежно разделены смазочной прослойкой.

Разработанная методика позволяет также выбрать необходимые температурно-силовые параметры для устранения вероятности схватывания в процессах ОМД.

УДК.674.023.001

А.П. Клубков, доцент; С.А. Гриневич, аспирант; В.И. Гиль, инженер;  
Б.В. Войтеховский, студент

### УДЕЛЬНАЯ СИЛА И СРЕДНЕЕ УСЛОВНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ РЕЗАНИЯ В ОБЛАСТИ МИКРОСТРУЖЕК ПРИ РЕЗАНИИ ДРЕВЕСИНЫ

Specific force and average conventional stress of cutting in the field of microchips at cutting wood.

Для получения чистой поверхности обработки следует стремиться к получению тонких стружек при резании, так как в этом случае образуется сливная стружка. Воздействие резца на отделяемый слой древесины рассмотрено в работе [1].

При образовании сливной стружки будущая поверхность обработки формируется непосредственно вблизи лезвия резца, что благоприятно сказывается на шероховатости обработанной поверхности. Однако силовые характеристики процесса резания в диапазоне тонких стружек ( $e_\mu \leq 0,1$  мм) недостаточно изучены, хотя законы резания при таких толщинах стружек представляют как практический, так и теоретический интерес.

При срезании любой толщины стружки на дуге резания будем иметь участок, на котором образуется микростружка, так как по мере резания заготовки толщина стружки растет от нуля до максимума. Для выявления закономерностей изменения  $F_{уд}$  и  $K_\mu$  были проведены экспериментальные исследования на высокоточной фрезерной установке при толщине стружки от 0,018 мм до 0,5 мм. Анализ графиков показывает, что в указанных выше пределах изменения толщин стружек удельная сила резания имеет криволинейную зависимость с более крутым спадом по мере приближения  $e_\mu$  к нулю.

Для установления эмпирической зависимости  $F_{уд}$  и  $K_\mu$  от переменных факторов были исследованы два вида формул: