

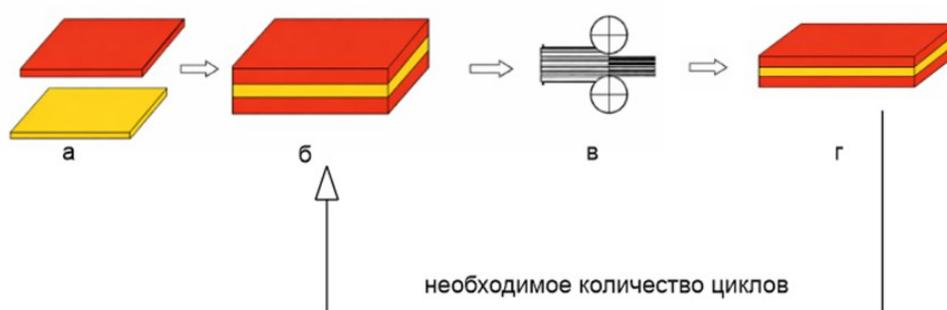
УДК 620.22

ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ ЛАМИНАРНОЙ СТРУКТУРЫ В МНОГОСЛОЙНОМ МАТЕРИАЛЕ В ПРОЦЕССЕ ДЕФОРМАЦИИ

Рыков Андрей Сергеевич

*Студент 4 курса**кафедра «Материаловедение»**Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана**Научный руководитель: А.О. Щербакова,**старший преподаватель кафедры «Материаловедение»*

Создание металлических многослойных материалов (рис.1) с ламинарной структурой микронного и субмикронного масштаба методом совместной ("пакетной") прокатки, разработанным в МГТУ им. Н.Э. Баумана [1-4], является одним из наиболее перспективных методов получения металлических композитов с высокими эксплуатационными свойствами. Для получения материала с заданными механическими и физическими свойствами принципиально важна механика взаимодействия слоев пакета в процессе прокатки, в частности механизм трения и значение коэффициента трения.



а – отрезка листов нужных размеров и толщины, б – сборка и вакуумирование/сварка листов для улучшения адгезии, в – горячая прокатка пакета, г – получение композита с заданным для одного прохода обжатием и повторение цикла необходимое количество раз

Рис. 1. Стадии процесса получения многослойных материалов с ламинарной структурой методом горячей прокатки пакета на примере трехслойного композита (составной части многослойного композита)

В рамках данной работы рассматривается влияние значения коэффициента трения скольжения на границах слоев на формирование и сохранение ламинарной структуры в трехслойных ($12X13+08кп+12X13$) и пятислойных ($12X13+08кп+12X13+08кп+12X13$) образцах с в процессе горячей прокатки (температура процесса $1000^{\circ}C$). Моделирование процесса проводилось в среде QForm, толщина каждого слоя $h = 2$ мм, диаметр валков $D = 30$ мм, предполагаемое относительное обжатие за один проход $\varepsilon = 10\%$.

Согласно литературным данным, при трении в воздушной среде коэффициент трения скольжения металлических материалов обычно не превышает $0,5-1,0$ [5]. В ходе симуляций с принятым обжатием в 10% при $\mu_k = 0,5$ и $\mu_k = 0,55$ происходила значительная деформация и расслоение (соответственно, нарушение

плоскопараллельности слоев пакета) как трехслойных, так и пятислойных заготовок. Судя по результату, в экспериментальных условиях коэффициент трения $\mu_k \leq 0,5$ мог бы обозначать полное отсутствие сварки слоев и вакуумирования полученной заготовки, а также недостаточную силу адгезии между заготовками. Верхней же границей интервала моделирования был принят случай $m = 1,0$, согласно литературе, соответствующий границе между условиями адгезии листов металлов в воздушной среде и низком вакууме. Установление большего коэффициента трения в рамках выбранной модели не имеет смысла из-за сложности связывания коэффициента трения с конкретным методом увеличения адгезии между слоями и его техническими параметрами без объективных экспериментальных данных для выбранных многослойных систем из указанных сталей.

Моделируемый процесс первого цикла прокатки начал проходить без заметного расслоения в трехслойных образцах при $\mu_k = 0,7$, в пятислойных при $\mu_k = 0,65$. Для трехслойного пакета при соответственном значении экспериментальное относительное обжатие составило в $\varepsilon_{\text{эксп}} = 10,00\%$, для пятислойного $\varepsilon_{\text{эксп}} = 9,92\%$, однако в обоих случаях возникала определенная волнистость по всей длине заготовки с амплитудой значений вокруг средней толщины пакета после прокатки в $\pm 0,01$ мм и $\pm 0,03$ мм, соответственно. Результат принят неудовлетворительным из-за нарушения плоскопараллельности слоев, а соответственно и ламинарной структуры композита.

При постепенном увеличении коэффициента трения μ_k до 1,0 зона волнистости стала ограничиваться небольшим отрезком на правом конце пакета, при $\mu_k = 1,0$ длиной не более $0,6D$. Объясняется это тем, что при достаточно высоком коэффициенте трения в принципе наличие такой зоны является следствием первоначально неустоявшегося характера пластической деформации при захвате пакета валками и в течении непродолжительного времени после (оценочно, около 4-5 с). При этом экспериментальное обжатие трехслойного пакета в итоге снизилось до $\varepsilon_{\text{эксп}} = 9,62\%$, а пятислойного до $\varepsilon_{\text{эксп}} = 9,51\%$. Приблизить степень обжатия пакета к заданному $\varepsilon = 10\%$ помог второй проход валками с тем же зазором, для трехслойного в итоге $\varepsilon_{\text{эксп}} = 9,94\%$, для пятислойного $\varepsilon_{\text{эксп}} = 9,89\%$. Однако при этом произошло увеличение зоны волнистости на правом конце пакетов до $0,65-0,75D$. Данный дефект можно исправить увеличением технологических циклов, однако, получаемая степень точности экспериментального обжатия $\varepsilon_{\text{эксп}}$ пакетов после одного и двух проходов можно считать удовлетворительной для дальнейшего формирования многослойного композита.

Для определения сходимости результатов с экспериментальными данными была использована методика изготовления физических образцов из двух видов скульптурного пластилина (твердого и мягкого), по геометрическим параметрам соответствующих пакетам, рассматриваемым в рамках компьютерного моделирования. Так как взаимодействие слоев пластилина можно принять за случай полного прилипания, то для имитации различных коэффициентов трения скольжения между слоями пластилина были добавлены прослойки из пластмассовых пленок толщиной от 40 до 100 мкм с разной шероховатостью. Образцы прокатываются с относительным обжатием $\varepsilon = 10,00\%$ на экспериментальном прокатном стане ДУО-100 при комнатной температуре, в предположении что при 20-25°C относительные удлинения соответственных видов пластилина (после набора прочности в ходе заморозки при -4°C) будут приблизительно равны этим параметрам выбранных сталей при температуре 1000°C. Полученные степени обжатия с точностью до 0,1 мм согласуются с назначенными значениями.

В ходе дальнейших исследований будет проведено измерение толщин и относительного удлинения прокатанных образцов на инструментальном микроскопе для установления связи с выполненной компьютерной моделью.

Литература

1. Колесников А. Г., Мечиев Ш. Т., Панова И. Ю. Состояние и перспективы применения многослойных металлических заготовок // Заготовительные производства в машиностроении. – 2008. – №1. С. 42-43
2. Колесников А.Г., Плохих А.И., Шинкарев А.С., Миронова М.О. Прокатка стального многослойного материала // Заготовительные производства в машиностроении. 2013. № 8 – С. 39–42
3. Колесников А.Г., Плохих А.И., Комиссарчук Ю.С., Михальцевич И.Ю. Исследование особенностей формирования субмикро- и наноразмерной структуры в многослойных материалах методом горячей прокатки // МиТОМ (Металловедение и термическая обработка металлов). 2010. № 6. – С. 44–49
4. Т.И. Табатчикова, А.И. Плохих, И.Л. Яковлева, С.Ю. Клюева Структура и свойства многослойного материала на основе сталей, полученного методом горячей пакетной прокатки // Физика металлов и металловедение. – 2013. –Т. 114, № 7. – С. 633–646.
5. Трение и антифрикционные материалы: учебное пособие / М.А. Филиппов, О.Ю. Шешуков; М-во науки и высш. образования РФ. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2021. – 204 с.