

КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ УПРУГОПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ИЗГИБЕ ПРИКРОМОЧНЫХ УЧАСТКОВ ТОЛСТЫХ ЛИСТОВ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ В СРЕДЕ DEFORM 2D-3D

С.В. Самусев¹, Г.П. Жигулев¹, А.И. Романцов², К.Л. Жигунов²,
М.С. Сигида², Д.А. Муртазина¹, П.А. Панкова¹

¹НИТУ «МИСиС» г. Москва, Россия,

²ОАО «Челябинский трубопрокатный завод», г. Челябинск, Россия

В результате воздействия на заготовку деформирующего инструмента в заготовке происходят перемещения частиц относительно друг друга. Поля перемещений частиц, скорости их перемещений, скорости деформаций и деформации в дальнейшем являются основой для расчёта полей напряжений, а также инвариантных характеристик, определяющих энергию формоизменения и другие силовые характеристики процесса деформации.

Кинематический анализ процесса деформации позволяет показать логичность всех последующих решений. На примере подгибки прикромочного участка листовой заготовки в работе на основе моделирования в среде [DEFORM](#) представлены траектории частиц, поля скоростей перемещений и скоростей деформаций для упругопластической среды, распределение компонент деформаций и интенсивности деформаций в сечениях заготовки. Применение методики построения графиков в лагранжевых координатах позволяет учесть историю нагружения материальных частиц и неравномерность деформации, связанную с режимами формоизменения и конструкцией деформирующего инструмента.

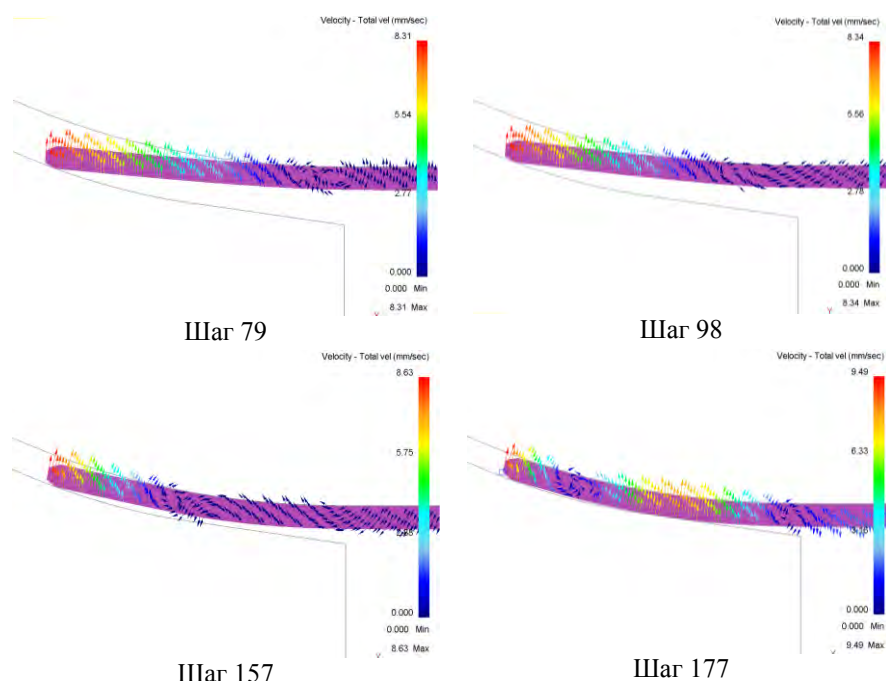


Рис. 1 – Цветовые диаграммы распределения абсолютной скорости V_t перемещения частиц заготовки при подгибке кромки по шагам: 79-98-157-177

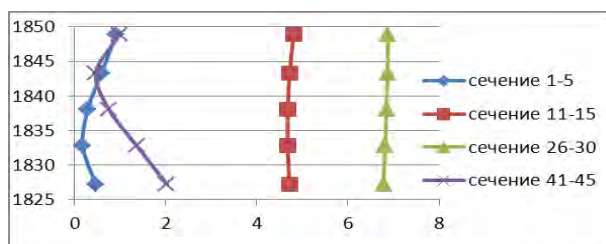


Рис. 2 – Эпюра распределения абсолютной скорости V_t перемещения частиц заготовки при подгибке кромки на шаге 177 (конечная стадия нагружения)

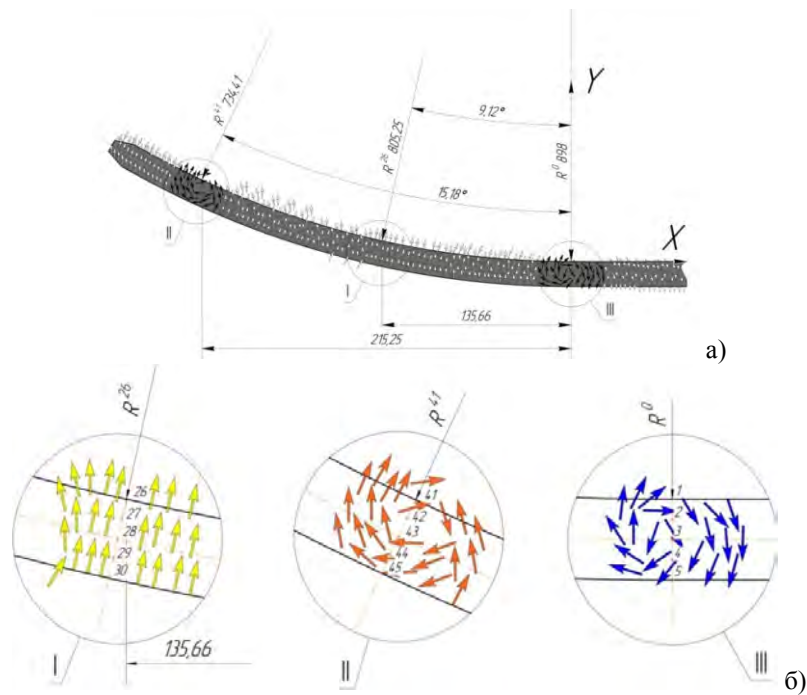


Рис. 3 – Векторы V_i перемещения частиц заготовки при нагружении кромки на КПП: а – на шаге 177; б – в сечениях 1-5, 26-30, 41-46

На графиках компоненты скорости перемещения частиц в очаге деформации обозначены V_x и V_y в направлении осей координат X и Y соответственно. Полученные результаты расчёта соответствуют плоскодеформированному состоянию при нагружении несжимаемого изотропного материала. Отметим, что в методике обработки цифровой информации использованы как начальные (лагранжевы) координаты для учёта истории нагружения, так и текущие (эйлеровы) координаты в случае исследования мгновенных состояний деформируемой среды.

Компоненты скорости перемещения частиц V_x и V_y при подгибке кромки могут служить оценкой логичности получаемых в дальнейшем характеристик НДС. Распределение компонент и модуля полной скорости перемещений частиц в поперечных сечениях показано на рис. 1-3. Ход кривых для сечений показывает, что минимальные значения V_y принадлежат частицам, вступающим в контакт с неподвижным инструментом. Частицы, которые контактируют с подвижным нижним инструментом, имеют скорость V_y , равную скорости перемещения деформирующего нижнего инструмента с небольшими отклонениями за счёт вышеуказанных погрешностей счёта в среде DEFORM.

Анализ картин распределения вектора скорости перемещения частиц

Особенностью течения металла при подгибке кромки, как видно из диаграмм, представленных на рис. 1, 2 является резкая неоднородность распределения полных скоростей перемещения материальных частиц, как по модулю, так и по направлению. Причиной этого является изменяющийся во времени контакт верхнего и нижнего инструментов с заготовкой. Протяжённость контактных зон и позиционирование их относительно оси симметрии заготовки пояснены в тексте и представлены на рисунках.

Согласно транспортированной в DEFORM модели сборки схемы настройки по мере движения нижнего инструмента вверх, как показали расчёты, внешняя кромка длительное время находится в точечном контакте с инструментом, тогда как длина контактной поверхности внутренней поверхности кромки с эвольвентой верхнего инструмента постоянно изменяется по протяжённости и перемещается в процессе подгибки.

В результате неравномерного контактного взаимодействия заготовки и инструмента в заготовке возникли три характерные зоны (рис. 3). Зоны 2 и 3 характеризуются локальными концентрациями вихревых движений частиц с одинаковыми направлениями поворотов векторов скорости перемещения частиц. Тогда как в сечении 1 и в других промежуточных зонах скорости частиц направлены в одну сторону в зависимости от положения рассматриваемых зон. Зоны 2 и 3 можно считать областями раздела между однонаправленными потоками частиц соседних участков заготовки. Отметим также, что сечения, перпендикулярные в исходном положении, поворачиваются при подгибке вокруг точек контакта с инструментом на угол равный локальному значению угла эвольвенты верхнего инструмента.

Участки между зонами 1, 2, 3, характеризуются более равномерным течением металла заготовки, хотя и изменяющимся по направлению во времени нагружения. Так, начиная со 138 шага направление течения частиц резко изменяется на противоположное. Частицы начинают перемещаться в сторону контактной поверхности верхнего инструмента на участках между 1-2 и 2-3 зон, хотя и под разным углом по отношению к ней. До 138 шага по времени за счёт воздействия нижнего инструмента на концевой участок заготовки частицы перемещались на вышеуказанных участках в направлении от контактной поверхности верхнего инструмента с образованием незначительного зазора размером 0,5-0,8 мм. Как показали расчёты, только в промежутке по времени от 138 шага и до 177 шага в конце нагружения кромка начинает прижиматься нижним инструментом к поверхности эвольвенты верхнего инструмента, что и показывают значения по модулю и направлению векторы перемещения частиц (рис. 1, 2).

Анализ расчётных значений параметров кинематики частиц ТЗ при подгибке кромки показал следующее. При нагружении в кромке заготовки формируются в соответствии со схемой настройки 7 участков с различными параметрами кинематики частиц (рис. 1, 2, 3). Участки в сечениях 1, 2 и 3, где стыкуются зоны с равнонаправленными

перемещениями, но с разными по направлениям векторами скоростей частиц характеризуются самой высокой неоднородностью распределения скоростей перемещения. Участки, располагающиеся между сечениями 1, 2, 3, характеризуются более равномерным характером течения, но с изменениями в направлении течения частиц в зависимости от перемещения нижнего инструмента. Примерно в интервале 0,6-0,7 величины хода нижнего инструмента по данной схеме настройки начинается охват заготовкой поверхности эвольвенты верхнего инструмента.

Особенности Кинематика частиц при разгрузке кромки

При разгрузке кромки расчёты скоростей показали следующее. Как видно из цветовых диаграмм, разгрузка начинается более интенсивно на участке торца кромки и замедляется при движении по направлению к прижиму. В области прижима наблюдается резкая локализация параметров скорости частиц, связанная с уменьшением величины модуля скорости и его направлением. Причём скорость перемещения торцевого участка кромки более резко уменьшается до 240-го шага разгрузки и по времени почти не изменяется в интервале 245-275 шагов разгрузки.

При разгрузке не наблюдается зон с резкой локализацией скорости в сечениях 2 и 1 в отличие от процесса нагружения, за исключением сечения, контактирующего с прижимом. Примерно половина кромки по длине, считая от торца, разгружается с большей (примерно в 1,5-1,6 раза) скоростью по сравнению с оставшейся частью зажатой прижимом. Причём направление векторов скоростей при разгрузке почти не изменяется и можно считать примерно совпадающим с направлением движения нижнего инструмента.

Таким образом, при разгрузке кромки по характеру распределения направлений скоростей перемещения вся длина может быть разделена на два участка примерно одинаковой длины: приторцевой участок, скорость которого в среднем в полтора раза выше средней скорости второго участка, примыкающего к прижиму. Всё выше сказанное относительно неравномерности полей скоростей частиц при подгибке отразится и на характере распределения деформаций и напряжений в кромке как при нагрузке, так и при разгрузке.

Результаты расчетов, полученные в среде DEFORM, использованы для построения напряжений и деформаций для любых фиксированных сечений листовой заготовки. Неравномерность полей напряжений и деформаций, полученных на основе учебной версии DEFORM с учётом экспериментальных данных ОАО «ЧТПЗ», позволяет учесть локальные эффекты упругопластической деформации и при необходимости корректировать первоначальную настройку инструмента и режимы деформирования с целью получения качественной заготовки.

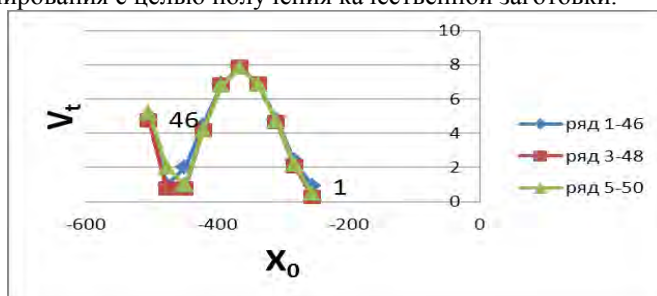


Рис. 4 – Эпюры модуля полной скорости частиц кромок V_t