

# **ИЗГОТОВЛЕНИЕ ГНУТОГО ПРОФИЛЯ НЕССИМЕТРИЧНОГО ТИПА ИНТЕНСИВНЫМИ СХЕМАМИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Применяемые в настоящее время методы изготовления гнутых профилей устарели и не отвечают требованиям, предъявляемым к технологии и оборудованию. А именно компактность, мобильность, быстрая переоснащаемость такого оборудования и малый срок окупаемости данной технологии и оборудования.

Поэтому разработка новой технологии, которая отвечала бы этим требованиям, является актуальной задачей в настоящее время.

Переход от старой технологии к новой требует немалых финансовых вложений, большой теоретической и экспериментальной базы, где можно было набирать и анализировать накопленный материал и опыт. Все это может затягиваться на многие годы.

Выходом из этой ситуации может служить применение компьютерных программ, основанных на методе конечных элементов, которые способны с высокой точностью воспроизводить реальный технологический процесс. Для процессов обработки металлов давлением наиболее адекватным является моделирование процесса в LS-DYNA. Данная программа позволяет смоделировать практически любой процесс в обработке металлов давлением (ОМД).

Процесс профилирования является одним из сложных процессов в ОМД, в котором есть немало тонкостей. Все эти особенности позволяет учесть программа LS-DYNA при моделировании данного процесса.

В конечно-элементном моделировании в качестве объекта исследования был выбран армирующий профиль 40,5x27,5x1,5.

Особенностью такого профиля является наличие дополнительной вертикальной полки, с помощью которой увеличивается жесткость профиля, но при этом возникают дополнительные сложности при его изготовлении.

Данный профиль изготавливается интенсивной схемой формообразования за 8 технологических переходов. Нужно отметить, что данное количество переходов является критическим к появлению дефекта кромковой волнистости, поскольку крайний элемент полки Б за время формования сгибается на  $270^{\circ}$  (!).

## **1. Математическое моделирование процесса профилирования в программе LS-DYNA**

Для анализа возможности изготовления данного профиля за требуемое количество переходов использовали компьютерное моделирование методом конечных элементов. Для этих целей использовали программу LS-DYNA. Предварительно спроектированный 8 технологических переходов

представляли средствами компьютерной графики в виде технологического инструмента - роликов и исходной плоской заготовки.

Параметры моделирования следующие: тип элемента - Shell 163 с однотоочечной редуцированной схемой интегрирования по плоскости с контролем Hourglass 4, модель материала: для профиля - билинейная изотропная модель (\*MAT\_PLASTIC\_KINEMATIC). Ролики задавались как абсолютно жесткие (Rigid) тела, КЭ сетка задавалась только на их поверхности, используя тип элемента Shell 163. Тип контактного элемента: заготовка - формирующие ролики - Forming surface-to-surface contact (FSTS), заготовка - направляющие и промежуточные ролики - Automatic surface-to-surface contact (ASTS). Конечно-элементная модель (рис. 3) включала в себя 9600 оболоченных элементов на исходной заготовке и роликовом инструменте.

Формоизменение заготовки методом конечных элементов осуществляли следующим образом. Заготовка в виде полосы длиной 900 мм, шириной, равной ширине развертки, 112,72 мм поступала в первый переход, при этом верхний формирующий ролик был поднят на 5 мм. На ролики задавались угловые скорости, соответствующие направлению проката. Движение полосы через калибры происходило под воздействием сил трения, возникающих в процессе подгибки элементов полок, что полностью соответствует реальному процессу.

Заготовку продвигали на 3 мм перпендикулярно оси симметрии роликов для более надежного и качественного захода в калибр. Через заданное время (0,005 с) ролики начинали вращаться, при этом верхний ролик также начинал опускаться (время перемещения верхнего ролика составлял 0,01 с), приводя в движение заготовку и образуя сечение профиля в соответствии с калибром. Заготовка под воздействием сил трения начинала перемещаться по направляющим роликам, проходя через четыре первых перехода. Между четвертым и пятым переходами установлены промежуточные ролики, которые предварительно подгибали боковые полки, а также придерживали профиль (для исключения прогиба по донной части профиля). Зайдя в пятый переход, заготовка деформировалась, образуя сечение в соответствии с заданным калибром, при этом промежуточные (боковые) ролики расходились, освобождая заготовку.

Аналогичное формообразование заготовки осуществлялось и на остальных формирующих переходах.

По результатам моделирования было проанализировано поведение заготовки между переходами на предмет образования кромковой волнистости, а также построены сечения профиля по переходам.

Наибольшие деформации сосредоточены с левого (по направлению движения) края профиля, вследствие больших углов подгибки. На графике явно выражены резкие скачки величин деформаций, что соответствует прохождению заготовки по переходам, при этом превышает предел перехода в пластическое состояние (0,002), который вызывает остаточную деформацию по левому краю профиля который и вызывает дефект

кромковой волнистости. По правому краю величина деформации соответствует упругой зоне, т.е. отсутствуют остаточные деформации.

Кроме того, на выходе из калибра пятого перехода в процессе моделирования, наблюдали образование дефекта волнистости на кромке профиля, вследствие больших углов подгибки между переходами (54 град). По графику это соответствует возрастанию продольных деформаций до 0,8% ( $T_{\text{time}} = 0,85 \text{ с}$ ), который подтверждает переход в зону действия пластических остаточных деформаций.

Результаты моделирования позволили предсказать форму готового профиля, вероятность возникновения дефекта кромковой волнистости и наличие скрутки профиля в результате различия деформаций по полкам профиля.

## **2. Теоретические исследования процесса образования кромковой волнистости по краям профиля**

Полученные значения деформаций при математическом моделировании проверили в теоретическом расчете. Для этого воспользовались формулой Чанга, позволяющей определить величину продольных деформаций по краям профиля в зависимости от толщины исходной заготовки, высоты полки и угла подгибки.

Величина продольных деформаций возрастает с увеличением угла подгибки при уменьшении высоты полки профиля. При этом величина деформаций в зоне Б, превышает деформации в зоне А в 2,5 - 3 раза и одновременно превышает уровень перехода в пластическое состояние (0,002), что приводит как к возникновению скрутки профиля, так и возникновению дефекта кромковой волнистости по полке Б.

Как видно по диаграмме величина продольных деформации по полке А практически не превышает предела упругости, т.е. остаточные пластические деформации по данной полке будут отсутствовать, в результате дефект кромковой волнистости на данной полке будет отсутствовать. Продольные деформации по полке Б на первых переходах практически соответствуют данному пределу, однако начиная с пятого, а особенно с шестого перехода данные деформации значительно возрастают, в результате чего по данной полке будет присутствовать остаточная пластическая деформация которая и вызовет образования дефекта кромковой волнистости.

## **3. Экспериментальные исследования процесса изготовления армирующего профиля**

Для подтверждения адекватности теоретической и конечно-элементной модели в АО "Ульяновский НИАТ" были произведены экспериментальные исследования изготовления данного профиля по рассматриваемой технологической схеме. Данный профиль был испытан на гибочно-прокатном станке ГПС-350М8. В ходе испытания фиксировались наличие

или отсутствие дефекта кромковой волнистости. При наличии дефекта фиксировали следующие параметры: амплитуда (А), период (Т).

Дефект кромковой волнистости был выявлен на 6, 7 и 8 переходах

#### **4. Сравнение результатов математического моделирования, теоретических расчетов и экспериментальных исследований**

Весьма важным является сравнение 3-х используемых моделей: математической, теоретической и практической.

Сравнение проводили по нескольким параметрам:

- по величинам продольных деформаций (для всех 3-х моделей);
- по наличию и форме дефекта кромковой волнистости (для математической и практической модели).

Как показывает сравнение величины деформаций значения отличаются не более чем на 20-30% (кроме 5-го перехода), что является вполне приемлемым, если учесть, что во всех 3-х моделях были приняты различные допущения.

Сравнение формы и величины гофр для практики и математического моделирования имеют одинаковый вид и форму, что подтверждает хорошую визуальную сопоставимость моделирования и практики.

Небольшие отклонения по форму гофры и отличия по величине деформаций выявлено только на 5-м переходе. Это может быть связано как с жесткостью полки при положении близкой к вертикальному, так и с ошибкой измерения.

Проведенные исследования подтвердили возможность использования средств математического моделирования для решения сложных задач пластического деформирования металла в процессах обработки давлением.

Посмотреть полную версию статьи можно здесь: [моделирование гнутого профиля](#)