

УДК 621.7.043

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ШТАМПОВКИ РАБОЧЕГО СТОЛА 3D ПРИНТЕРА PROJET-1200

Андрей Платонович Кайбаров

Студент 4 курса

Кафедра «Технологии обработки давлением»

Московский государственный технический университет имени Н.Э.Баумана

Научный руководитель: А.И. Алимов

Ассистент кафедры «Технологии обработки давлением»

В настоящее время широко распространена печать на 3D-принтерах. Эти принтеры состоят из большого количества компонентов, часть которых изготавливается с помощью штамповки. В частности, в данной статье рассматривается разработка технологического процесса изготовления рабочей платформы ProJet 1200 (Рис. 1). Работа такого принтера осуществляется за счет нанесения фотополимерного материала слоями на рабочую поверхность стола и последующего его отверждения ультрафиолетом (рисунок 2). Большое влияние на точность изготавливаемых моделей оказывает размерная точность, параллельность плоскости рабочего стола по отношению к её креплению, а также ее плоскостность. Предложен процесс изготовления данной детали путем вырубки, гибки полки, совмещенной гибки в замкнутый контур и точечной сварки. При изготовлении возможно разрушение в зоне гибки, а также пружинение. С целью исследования данного технологического процесса было проведено полное моделирование совмещенной гибки детали в программных комплексах Autoform.



Рис. 1 – Общий вид 3D-принтера ProJet 1200

Производство данной детали является мелкосерийным. Так как к детали не предъявляется больших прочностных требований материалом выбирается Сталь 08кп (относительно высокая прочность и дешевизна). По чертежу детали можно выявить следующие возможные трудности по изготовлению: получение внутреннего радиуса скругления величиной 0,5 мм, при толщине листа заготовки в 1,5 мм. Чертеж детали приведен на Рис. 3 – Чертеж детали

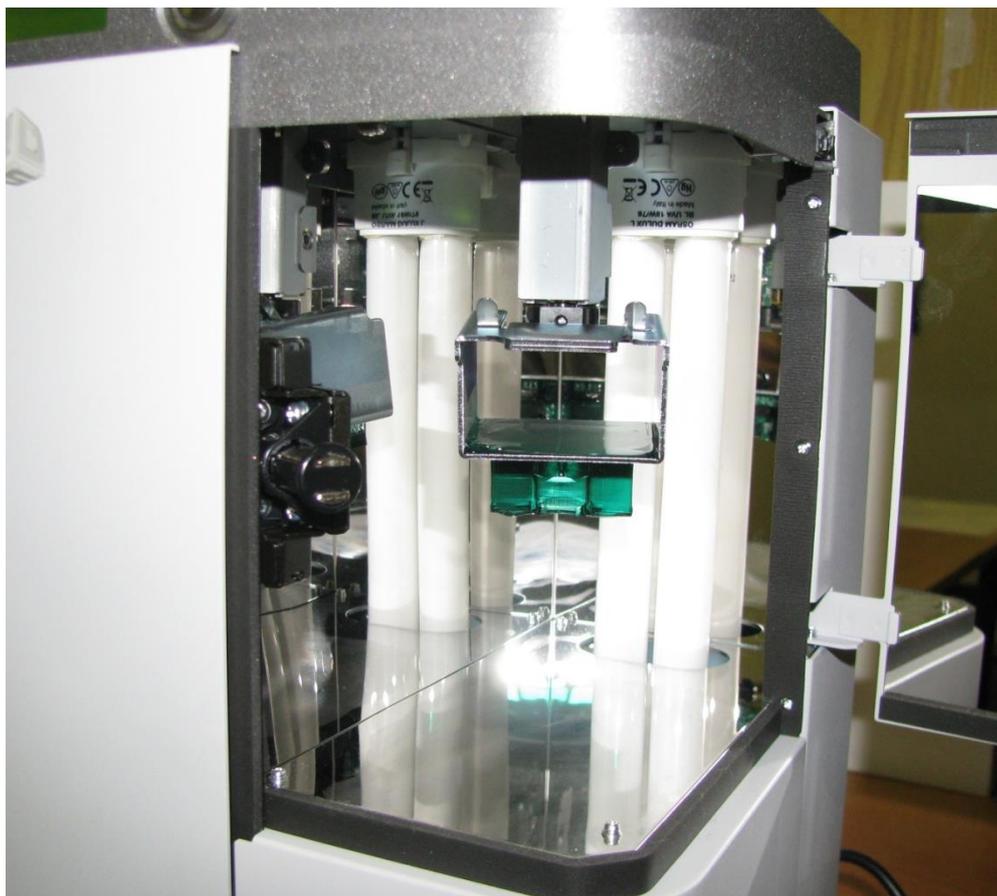
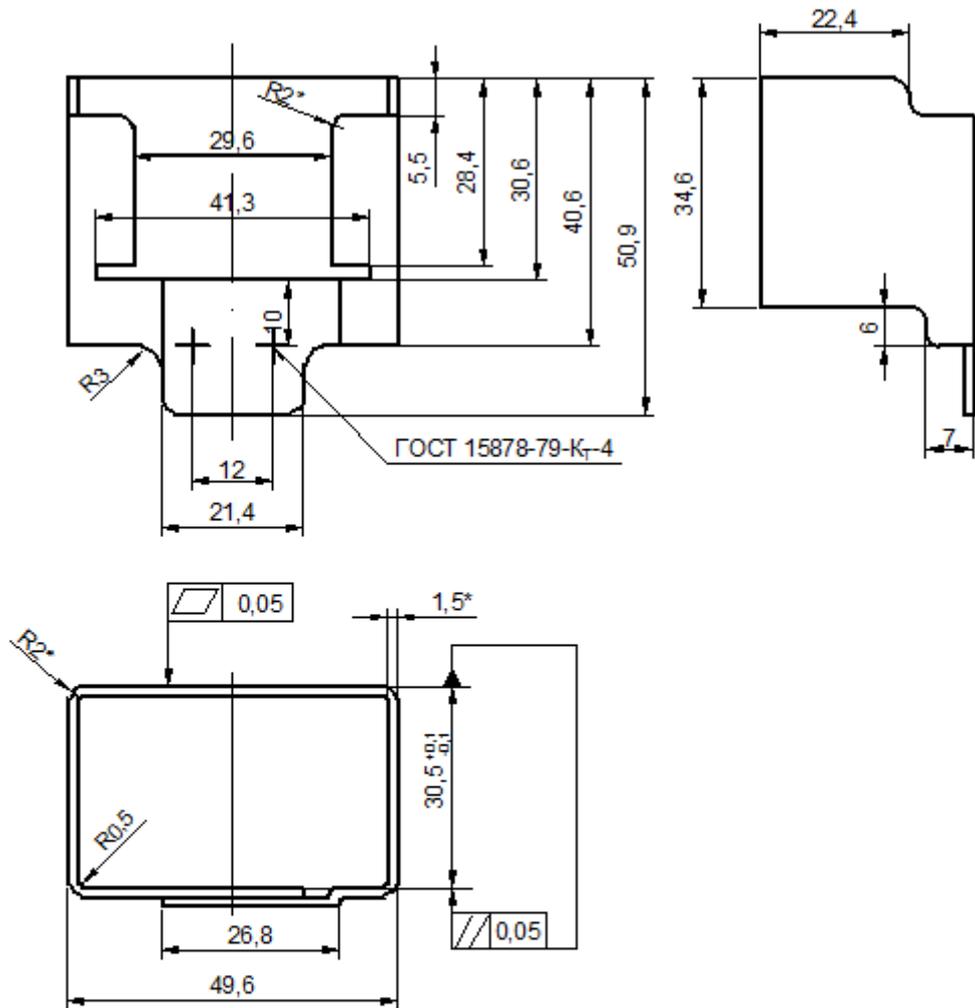


Рис. 2 – Расположение рабочего стола в 3D-принтере



- 1.* - размер для справок
- 2. Общие допуски по ГОСТ 30893.2-мК
- 3. Неуказанные радиусы скруглений 2 мм
- 4. Шероховатость поверхности кромок $\sqrt{Rz} 20$

Рис. 3 – Чертеж детали

Принимается следующая последовательность изготовления детали:

Таблица 1. Технологическая карта

Наименование операции	Инструменты
1) Резка листа на полосы	Гильотинные ножницы
2) Вырубка детали из полосы	Пресс КД2124, штамп вырубной
3) Пробивка перемычки	Пресс КД2124, штамп пробивной
4) Гибка полки	Пресс КД2124, штамп гибочный
5) Совмещенная гибка детали в замкнутый контур	Пресс КД2128, штамп гибочный совмещенного действия
6) Точечная сварка	Аппарат для электроконтактной сварки
7) Проверка ОТК	Измерительные инструменты

Совмещенная гибка осуществляется в 3 перехода: первым переход является П-образная гибка, вторым и третьим переходами являются поочередная гибка полок до их смыкания. П-образная гибка проходит при помощи центрального пуансона, который соприкасается с заготовкой в ее центральной части (Рис. 4). В результате чего заготовка начинает деформироваться и принимает вид, указанный на Рис. 5. Для того чтобы избежать образования выпуклости детали под пуансоном применяется прижим, имеющий ограниченный ход. На данном этапе деформация проходит без участия боковых ползушек, выполняется их ход приближения. Далее происходит поочередная гибка левой и правой полок. Причем боковые ползушки расположены так, что только по окончании деформирования левой полки начинается деформация правой (Рис. 6). Такой характер деформирования необходим для замыкания детали в замкнутый контур (Рис. 7).

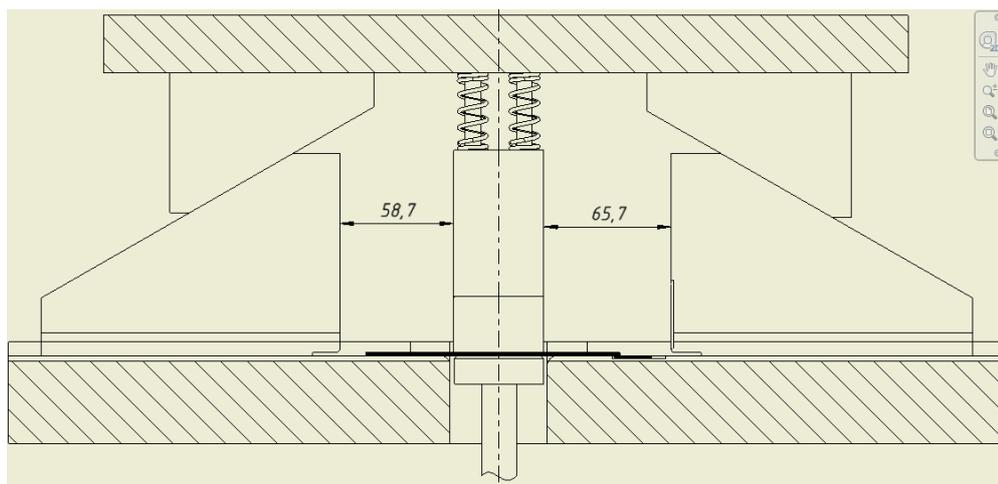


Рис. 4 – Начало операции совмещенная гибка

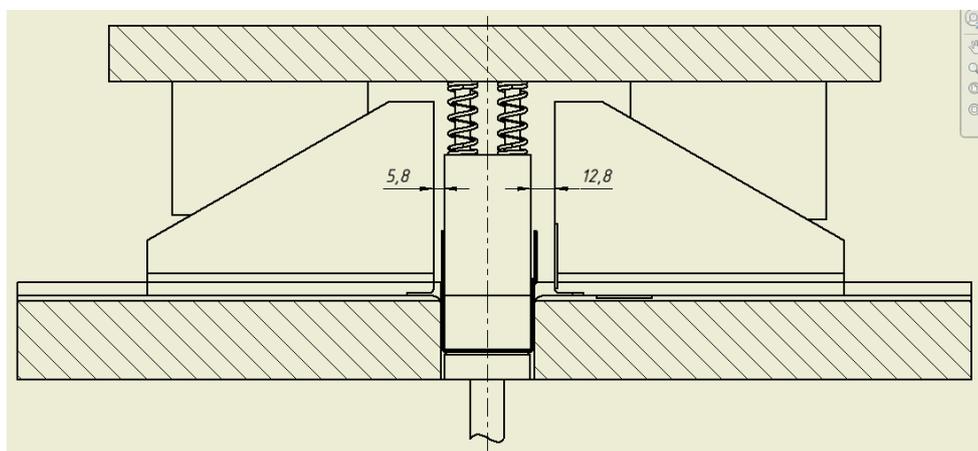


Рис. 5 – Окончание П-образной гибки

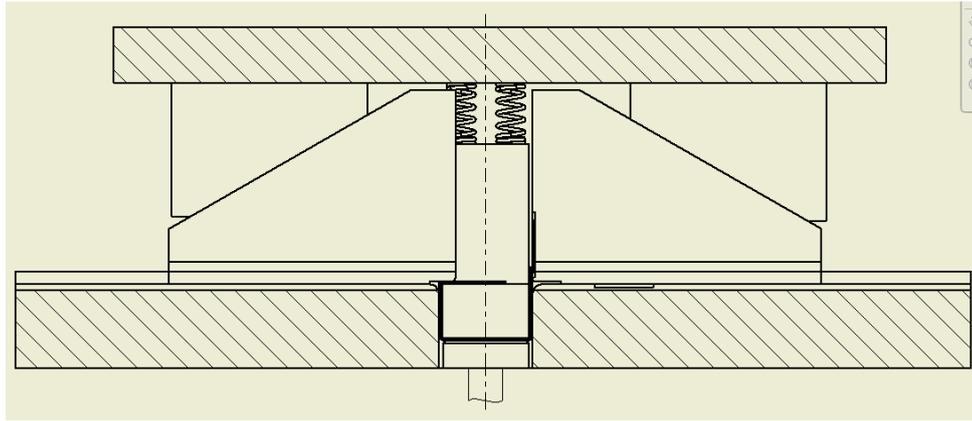


Рис. 6 – Окончание гибки левой полки

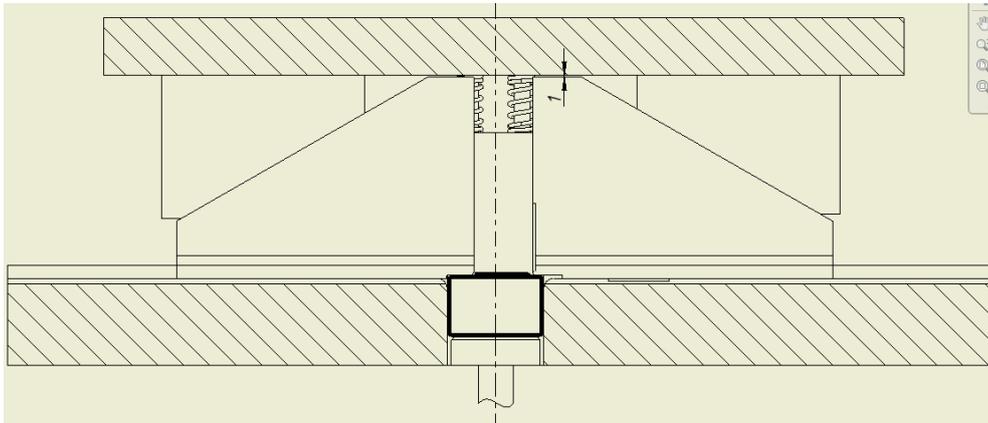


Рис. 7 – Крайнее нижнее положение

Для подготовки расчета, необходимо произвести построение всех необходимых инструментов в программе Autodesk Inventor, либо в какой-либо другой аналогичной программе. Построение ведется через поверхности, сохранение выполняется в формате IGS, воспринимаемой программой Autoform. Стоит также отметить, что построение проводится в крайнем нижнем положении, то есть пуансон находится в том положении, в котором он должен закончить деформацию (Рис. 8).

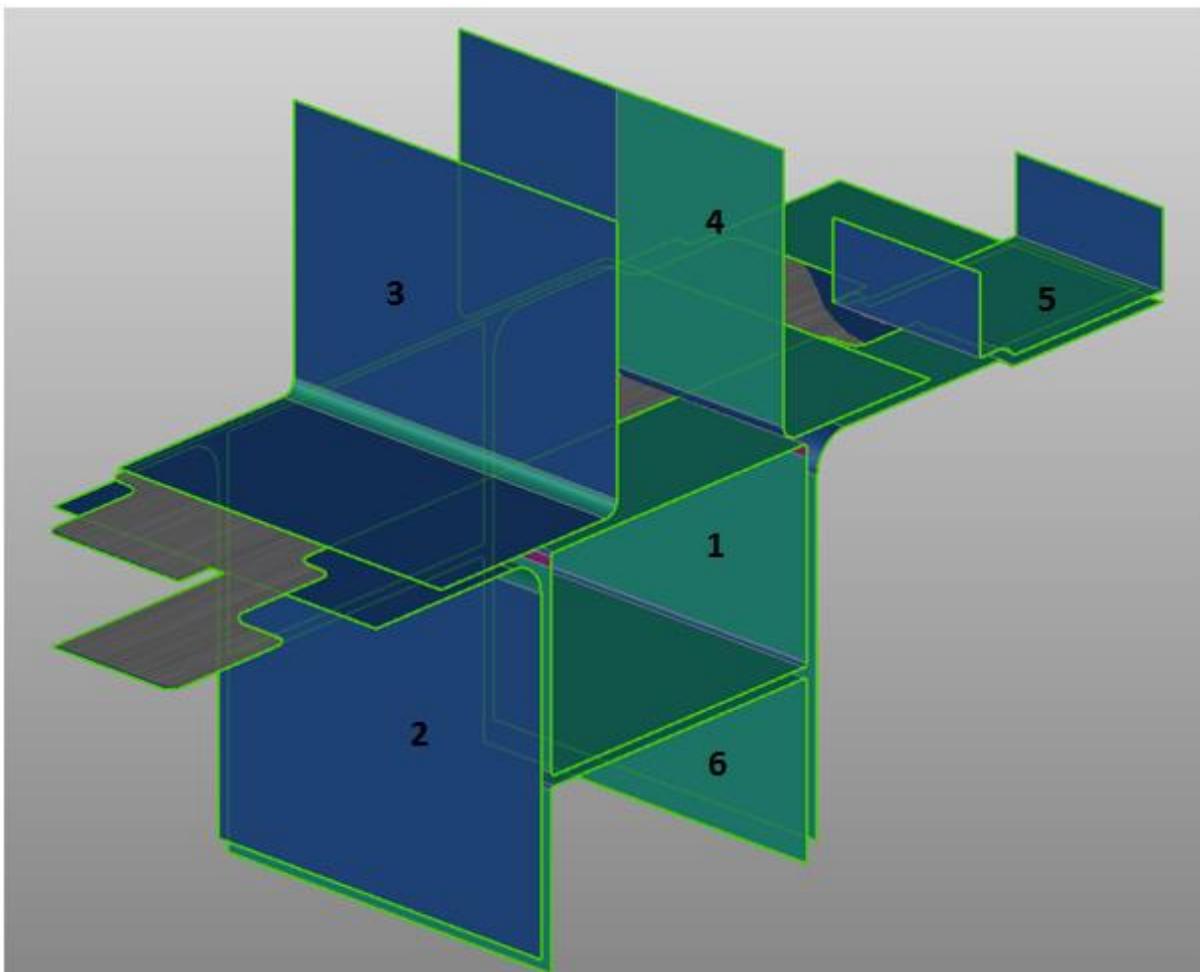


Рис. 8 – Загруженная 3D-модель инструментов и заготовки

(1 – Пуансон для П-образной гибки, 2 – Матрица, 3 – Ползушка для гибки левой полки, 4 – Ползушка для гибки правой полки, 5 – Пуансон для гибки полки, 6 – Прижим)

Далее производится выбор материала заготовки, ее толщина и геометрия. Материалом детали является Сталь 08кп, но так как библиотека программы Autoform не содержит материалов ГОСТ, то выбирается аналог. Аналогом является сталь DC04, относящаяся к немецким стандартам. Свойства материала задаются несколькими кривыми (Рис. 9). Кривая упрочнения, которая дает зависимость величины напряжения (ось ординат), действующего в пластически деформируемом теле при линейном напряженном состоянии, от величины деформации (ось абсцисс). Поверхность текучести, определяющая величины главных максимальных (ось абсцисс) и минимальных (ось ординат) напряжений для перехода материала в пластическое состояние; FLD-диаграмма, показывающая предельные деформации материала. При деформациях выше черной кривой на графике приводит к разрушению материала. По оси абсцисс откладываются минимальные истинные деформации, по оси ординат – максимальные истинные деформации. Толщина заготовки заготовки выбирается в соответствии с толщиной детали (1,5 мм.). Геометрия выполняется совместно с геометрией инструментов и выбирается в пункте «Blank».

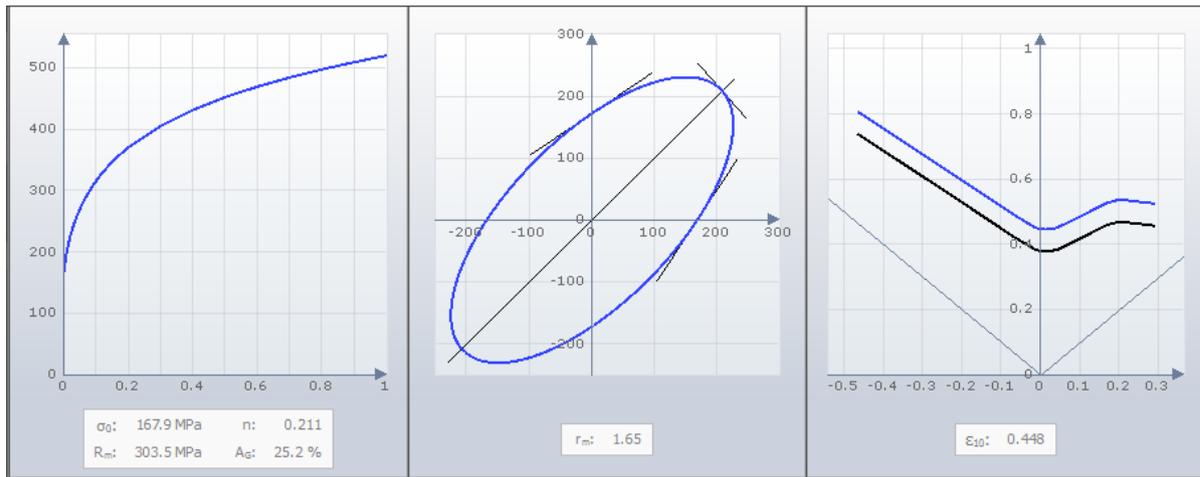


Рис. 9 – Свойства материала DC04
(Кривая упрочнения, поверхность текучести, FLD-диаграмма)

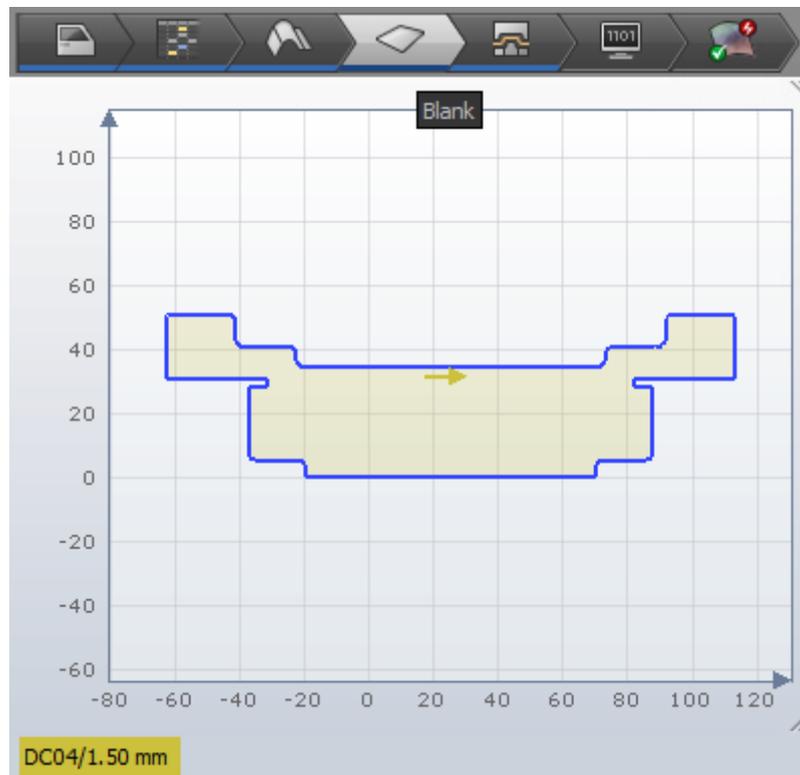


Рис. 10 – Задание геометрии заготовки

Далее производится определение геометрии инструментов, параметры и направления их движения. Перед расчетом совмещенной гибки согласно предложенному технологическому процессу осуществлялась гибка полки (1).

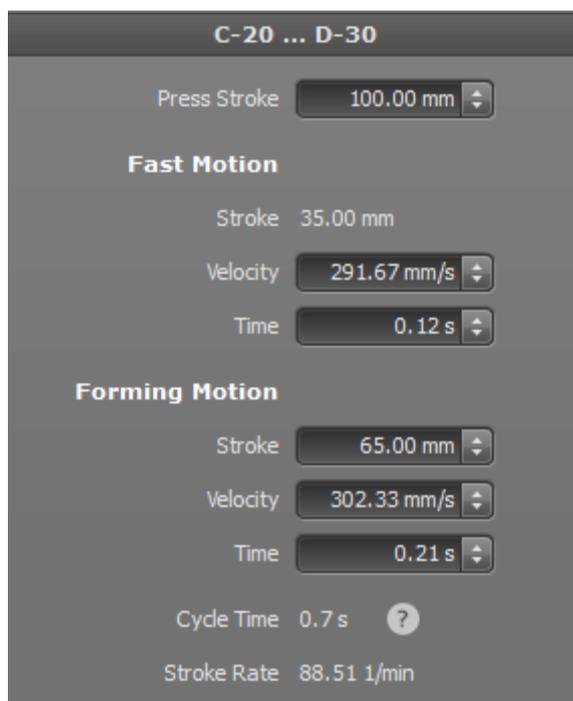


Рис. 11 – Параметры движения инструмента

Движение рабочих инструментов в программе задается глобально для всех операций и может быть только кривошипным. Поэтому параметры их движения ограничиваются следующими параметрами: ход ползуна, время деформирования. При этом ход ползуна можно разделить на ход приближения и ход деформирования. Для хода деформирования задается ход и время, свободный же ход задается только через время, а величина хода определяется как разность хода ползуна и хода деформирования. Скорость деформирования и число оборотов задается из расчета вышеуказанных параметров. Параметры устанавливаются в соответствии с выбранным прессом: ход ползуна – 100 мм, ход деформирования – 65 мм, число оборотов в минуту – 90 (Рис. 11).

В ходе расчетов возникли проблемы с адекватностью расчетов детали в результате гибки. При гибке очаг деформации локализуется в зоне гибки, но расчет показывал результаты больше похожие на операцию вытяжки (Рис. 12). То есть получалось затягивание материала в пространство между пуансоном и матрицей. Для устранения этой проблемы было принято решение увеличить точность расчета уменьшением максимального размера конечного элемента и выбор иного типа конечного элемента. В параметрах расчета устанавливается тип элементов: либо ВЕМ (bending enhanced membrane) либо EPS (elastic plastic shell). По умолчанию тип элемента стоит ВЕМ, который применяется для предварительного расчета глубокой вытяжки тонких деталей и обладает приближенной жесткостью при изгибе. Для повышения точности выбирается тип элементов EPS. Результаты расчета приведены на **Ошибка! Источник ссылки не найден.9.**

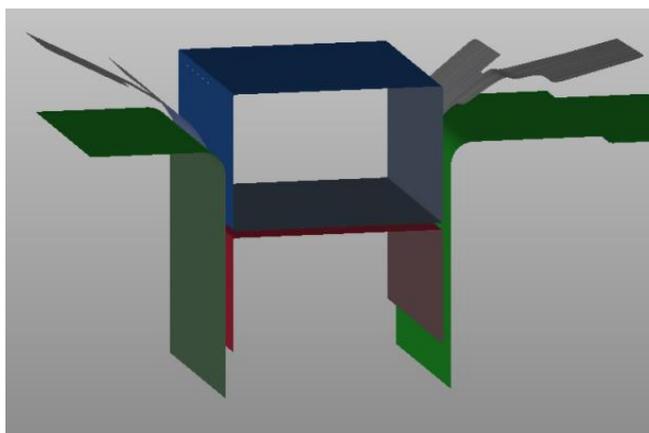


Рис. 12 – Неверный расчет

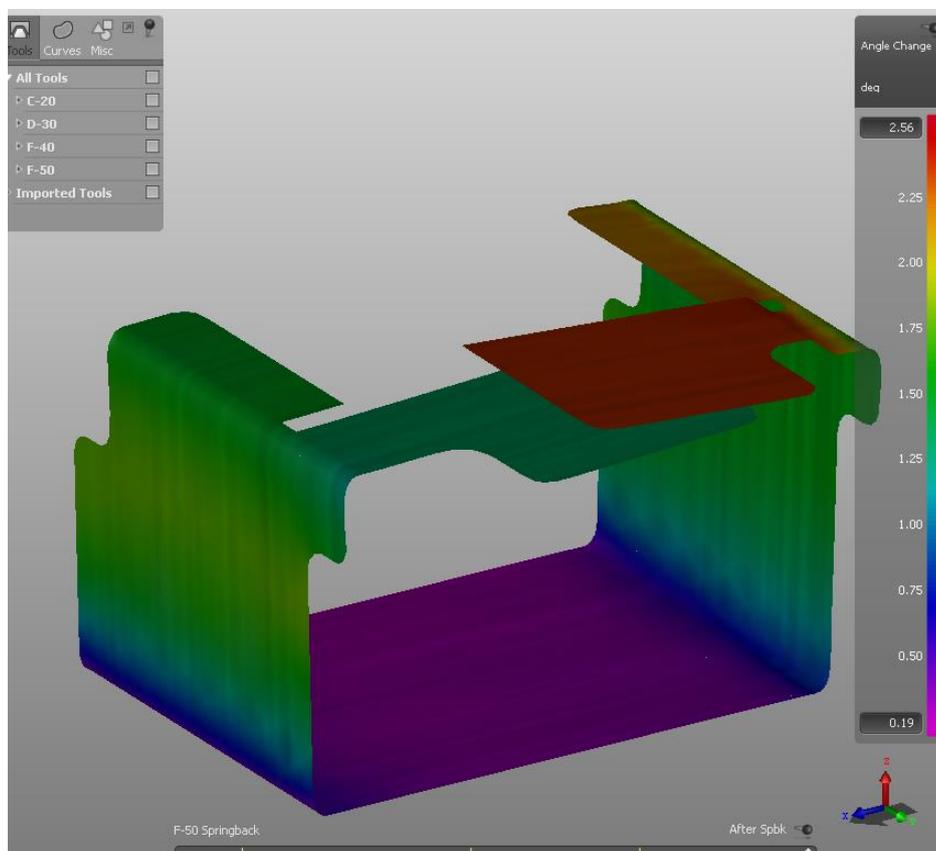


Рис. 13 – Пружинение детали

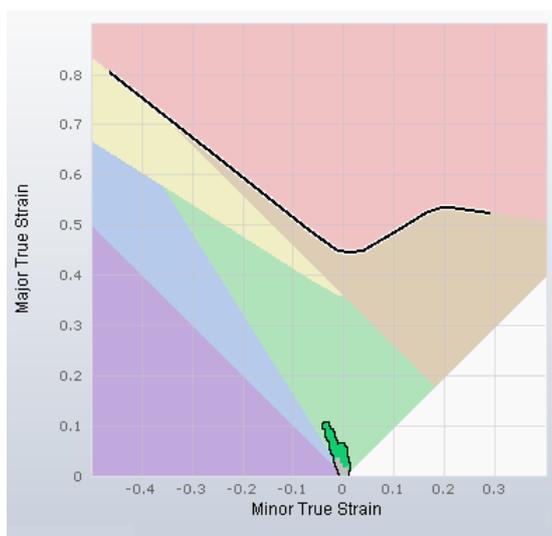


Рис. 14 – FLD-диаграмма

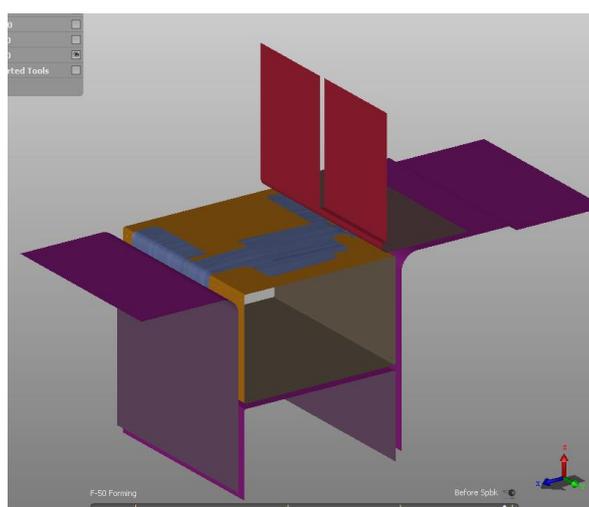
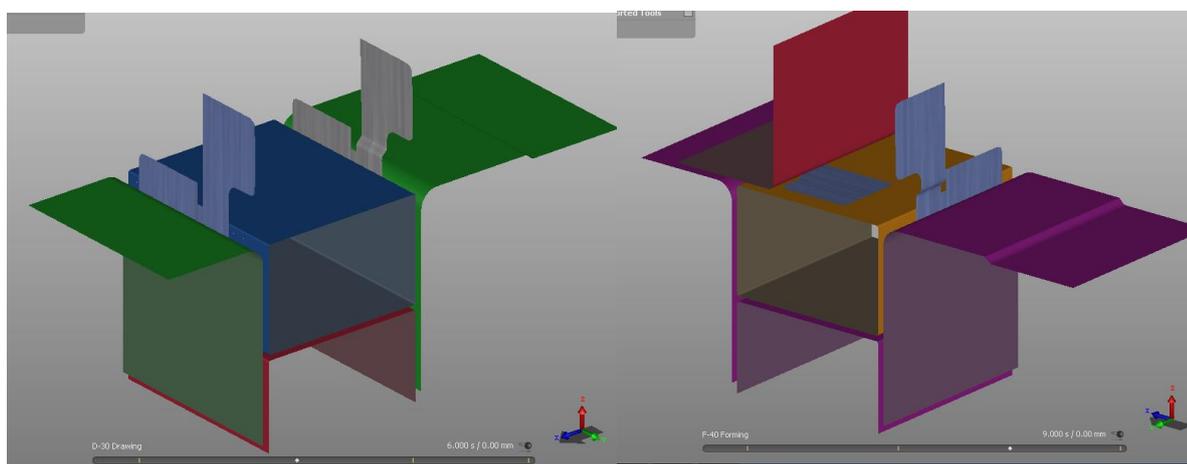


Рис. 15 – Полученные переходы деформирования

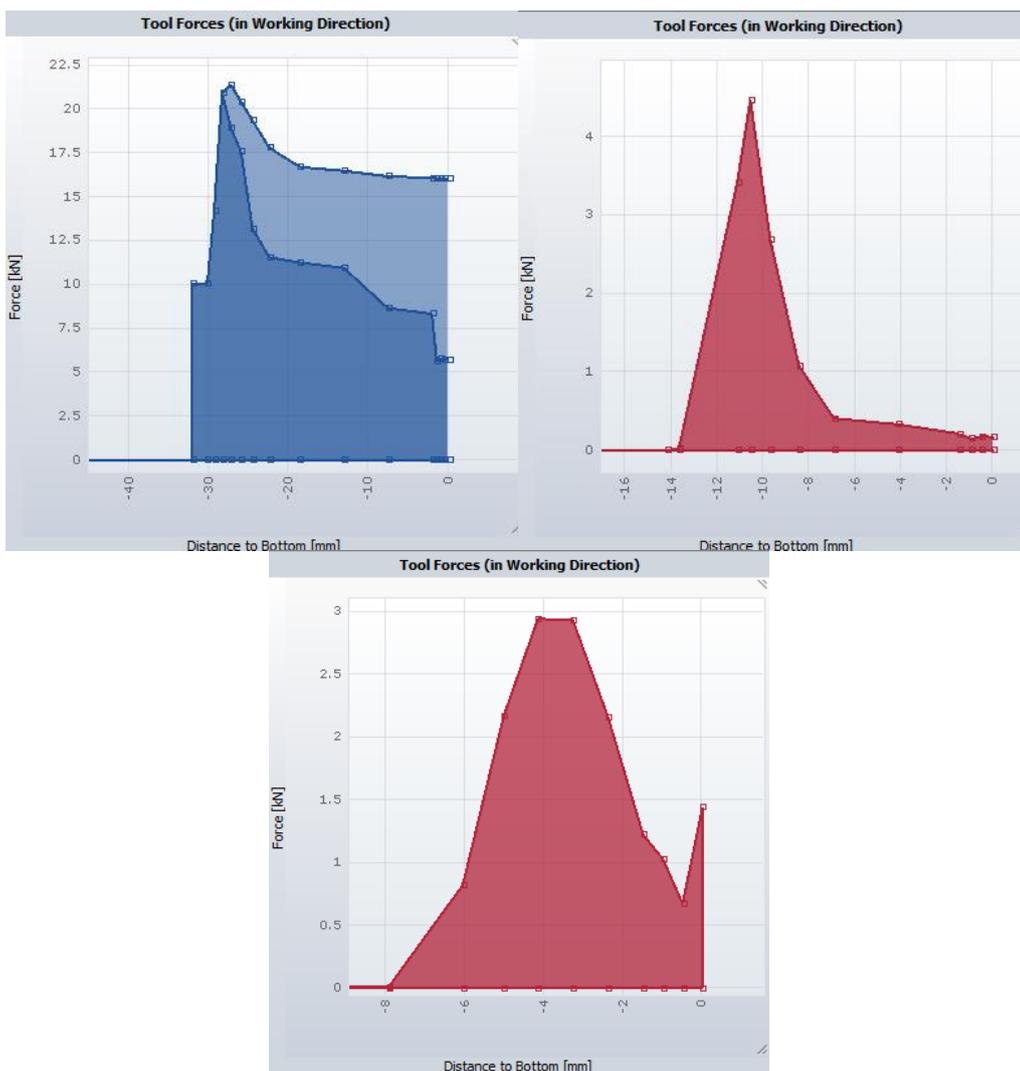


Рис. 16 – Графики сил
(П-образная гибка, гибка левой полки, гибка правой полки)

По результатам расчета можно сделать вывод, что данный технологический процесс является полностью осуществимым без каких-либо дефектов, влияющих на предъявляемое качество детали. Как видно на FLD-диаграмме предполагаемое разрушение детали в угловых частях не возникло, практически все точки на диаграмме находятся в безопасной зоне. Одним из требований, предъявленным к детали является плоскостность рабочей поверхности. Данное требование достигается за счет совместной работы центрального пуансона и прижима. Рабочая поверхность заготовки зажимается между ними и достигает плоскостности, соответствующей плоскостности прижима. Пружинение детали наблюдается в боковых стенках и на верхних полках, и достигает максимального значения в размере $2,56^\circ$ в правой полке. Такое пружинение никак не повлияет на дальнейшую операцию сварки, так как совмещение левой и правой полки можно осуществить вручную. Для борьбы с пружинением можно уменьшить угол пуансона на угол пружинения либо выполнить небольшой радиусный выгиб средней полки (Рис. 17).

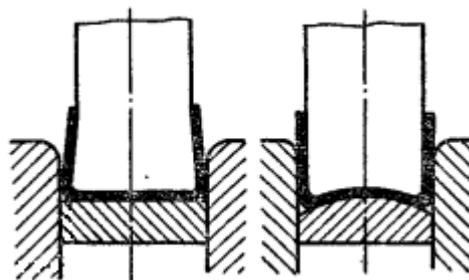


Рис. 17 – Возможные способы борьбы с пружинением

Литература

1. Справочник конструктора штампов: Листовая штамповка/Под общ. ред. *Л. И. Рудмана*. – М.: Машиностроение, 1988. – 496 с.: ил. – (Б-ка конструктора).
2. Справочник по холодной штамповке. – 6-е издание., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение. Ленингр. Отд-ние, 1979. – 520 с., ил.
3. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3-ч т. Т.1. – 9-е изд., перераб. И доп./ под ред. *И.Н. Жестковой*. – М.: Машиностроение, 2006. – 928 с.