

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ АДАПТИВНОГО ГИБА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ЛИСТОВЫХ ДЕТАЛЕЙ ДВОЙНОЙ КРИВИЗНЫ

В.В. Плихунов, А.В. Коваленко (ОАО «Национальный институт авиационных технологий»)

Рассмотрен вопрос пружинения при формообразовании длинномерных листовых заготовок. Предложен способ учета пружинения за счет определения границы между зонами упругой и пластической деформации. Описана система адаптивного гiba на базе современных средств промышленной автоматизации, реализующая предложенный способ учета пружинения.

Ключевые слова: система управления, следящий привод, формообразование, пружинение, длинномерная заготовка.

Формообразование, наряду с механической обработкой, является одним из основных способов получения деталей. Оно широко используется в машиностроении: в частности, путем формообразования изготавливают элементы обшивки летательных и космических аппаратов, кузовов легковых автомобилей, корпусные элементы судов. В качестве исходного материала для перечисленных деталей выступают листовые заготовки различной формы, габаритов и толщины.

В авиастроении в качестве заготовок используются фрезерованные панели из различных сплавов алюминия, зачастую имеют сложный контур и неоднородный профиль, содержащий различные утолщения и ребра жесткости. В первую очередь это относится к панелям крыла – длинномерным ($\geq 10...25$ м) деталям, часто обладающим, в дополнение к вышеописанному, двойной кривизной. Отметим, что к панелям крыла предъявляются высокие требования по точности – допустимые отклонения фактического контура от заданного не превышают 1 мм.

Одним из способов изготовления подобных длинномерных деталей является локальное нагружение в поперечном сечении по трех- или четырехточечной схеме (рис. 1 а и б) на специализированных гидравлических прессах. В этом случае деталь разбивается на ряд поперечных сечений, шаг между которыми выбирается в зависимости от длины пуансонов и обычно составляет порядка 1 м. Величина прогиба для каждого сечения рассчитывается с учетом влияния прогибов на соседних сечениях, а также краевых эффектов.

Отличительной особенностью алюминия, основного материала для авиационных деталей, является значительное пружинение – изменение размеров листовых изделий по сравнению с размерами, заданными инструментом, вследствие действия упругих напряжений после снятия деформирующей нагрузки [1]. Дополнительные сложности создает неравномерное распределение механических характеристик материала и, как следствие, пружинения, из-за его неоднородности. Это особенно

заметно на заготовках больших габаритов, коими являются заготовки панелей крыла.

К настоящему времени разработаны различные способы компенсации пружинения. Самым простым из них является увеличение перемещения пуансона на усредненное (расчетное) значение пружинения для конкретного материала, однако такой способ не позволяет получить высокую точность формообразования и потому не применим при изготовлении панелей крыла.

Другой способ основан на догибе – последовательном увеличении хода пуансона до момента получения необходимого прогиба. Такой способ является довольно трудоемким, так как требует сверки с шаблоном после каждого хода пуансона, и является наиболее часто используемым при ручном формообразовании.

В конце 1970-х гг. был предложен способ, сочетающий статическое и пульсирующее нагружение с частотой 15...20 кГц [2]. Недостатком данного способа является необходимость применения быстродействующей гидравлики для обеспечения пульсирующего нагружения, что является весьма затратным при работе со значительными усилиями.

Применение современных систем управления и следящих приводов позволило разработать альтернативный способ. Анализ процесса нагружения показал наличие однозначной взаимосвязи перехода от упругой к пластической деформации и изменения скорости роста усилия на пуансоне (рис. 2).

Как видно из рис. 2, при перемещении (опускании) пуансона с постоянной скоростью до момента его соприкосновения с заготовкой усилие на пуансоне остается постоянным и в ряде случаев может быть близким к нулю, поскольку пуансон перемещается под собственным весом. С момента касания с заготовкой усилие на пуансоне линейно возрастает из-за возникающей реакции заготовки. На начальном этапе реакция носит упругий характер, – в этом случае можно говорить о зоне упругой деформации или пружинения. По достижении определенной величины прогиба деформация перестает

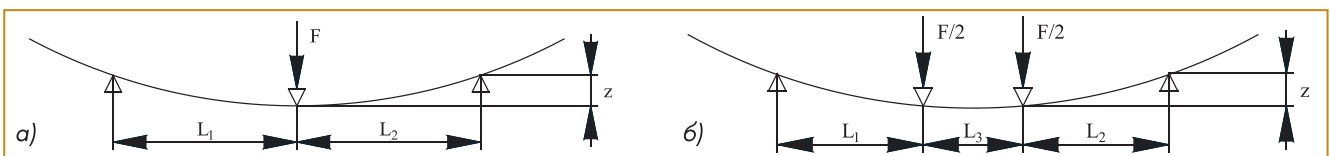


Рис. 1. Трехточечная (а) и четырехточечная (б) схемы нагружения при формообразовании. Вид в поперечном сечении, где: F – усилие на пуансоне; z – перемещение пуансона; L_1, L_2, L_3 – расстояния между точками нагружения. В общем случае $L_1 \neq L_2 \neq L_3$.

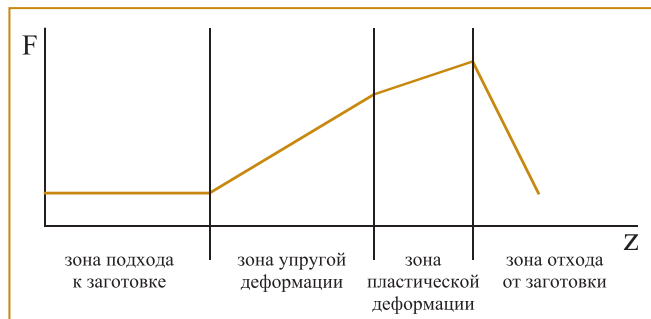


Рис. 2. Изменение усилия на пуансоне (F) в зависимости от величины перемещения пуансона (z)

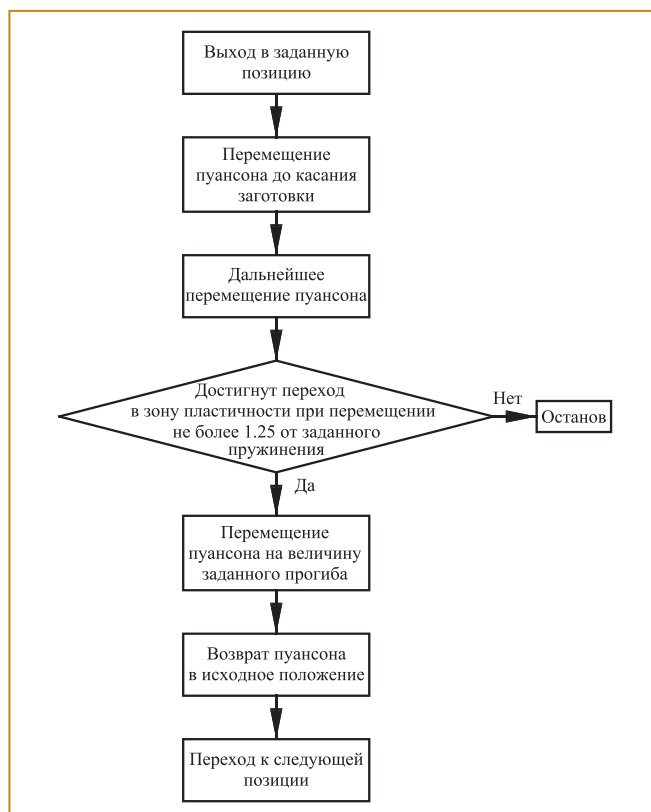


Рис. 3. Обобщенный алгоритм работы системы адаптивногогиба

быть упругой и переходит в пластическую зону, — с этого момента в материале заготовки возникают необратимые изменения, что характеризуется снижением скорости увеличения усилия на пуансоне. Точка на графике перемещения пуансона, соответствующая переходу от упругой деформации к пластической, является началом для отсчета величины заданного прогиба.

Ввиду неоднородности материала заготовки положение точки перехода от упругой деформации к пластической может отличаться для различных участков заготовки. Описанный способ учитывает подобные неоднородности и позволяет технологическому

оборудованию адаптироваться под изменяющиеся свойства заготовки.

Система адаптивногогиба, базирующаяся на данном способе, может быть реализована с помощью любого средства промышленной автоматизации (системы ЧПУ, ПЛК), обладающего функцией интерполяции, в сочетании со следящим приводом. Для работы системе адаптивногогиба достаточно передать матрицу координат точекгиба на поверхности заготовки с указанием требуемого прогиба в каждой из них, а также расчетное значение пружинения материала заготовки.

Обобщенно алгоритм работы такой системы можно описать следующим образом (рис. 3). После выхода обрабатываемой заготовки в заданную позицию, соответствующую очередной точкегиба на ее поверхности, пуансон начинает перемещаться (опускаться) до соприкосновения с заготовкой. Момент соприкосновения может фиксироваться по возрастанию усилия на пуансоне либо с помощью различных бесконтактных датчиков. С момента соприкосновения пуансон продолжает движение, деформируя заготовку, пока деформация не перейдет из упругой в пластическую либо расстояние, пройденное пуансоном от момента касания, не превысит 1,25 заданного значения пружинения материала. Если пройденное пуансоном расстояние превысило 1,25 заданного значения пружинения, а деформация осталась в упругой зоне, то это свидетельствует о задании некорректных параметров обработки и выполнение управляющей программы прекращается в аварийном порядке. Отметим, что значение 1,25 является ориентировочным и в случае необходимости может быть изменено через машинные данные системы управления. Если же точка перехода от упругой деформации к пластической успешно определена, то от нее пуансон перемещается на расстояние, соответствующее заданному прогибу в данной точке, после чего возвращается в исходное положение, и происходит переход к следующей точкегиба.

Описанная выше система адаптивногогиба была успешно применена на модернизированной версии специализированного правильного прессы СПП-250К, поставленного Национальным институтом авиационных технологий на один из авиастроительных заводов для формообразования панелей крыла самолетов длиной до 25 м. Система управления прессом СПП-250К построена на промышленном контроллере с функцией интерполяции Siemens SIMOTION P240 и системе цифровых приводов Siemens SINAMICS S120.

Список литературы

1. Энциклопедический словарь по металлургии. Гл. ред. Н.П. Лякишев. — М.: Интермет Инжиниринг, 2000. — 821 с.
2. Осипов В.П., Ратова Н.В. Способ формообразования деталей. Пат. SU774696 А1 от 30.10.1980.

Плихунов Виталий Валентинович — д-р техн. наук, проф., первый заместитель генерального директора;
Коваленко Артем Валерьевич — канд. техн. наук, заместитель генерального директора по научно-исследовательской деятельности ОАО «Национальный институт авиационных технологий».
 Контактный телефон +7 (495) 312-11-49.
 E-mail: avk@niat.ru