Марьин Б. Н., Феоктистов С. И., Колыхалов Д. Г., Куриный В. В., Иванов И. Н.
B. N. Maryin, S. I. Feoktistov, D. G. Kolykhalov, V. V. Kuriny, I. N. Ivanov

ИССЛЕДОВАНИЕ СОВМЕЩЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

THE COMBINED PROCESSES STUDY FOR MANUFACTURING AIRCRAFT PARTS

Марьин Борис Николаевич – доктор технических наук, профессор кафедры «Машиностроение и металлургия» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); +7(914)177-87-55. E-mail: mariynsb@mail.ru.

Mr. Boris N. Maryin – Dr. of Engineering, Professor, Department of Mechanical Engineering and Metallurgy, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Russia, Komsomolsk-on-Amur); +7(914)177-87-55. E-mail: maryinsb@knastu.ru.

Феоктистов Сергей Иванович – доктор технических наук, профессор, декан самолетостроительного факультета Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); +7(4217)24-11-90. E-mail: ssf@knastu.ru.

Mr. Sergei I. Feoktistov – Dr. of Engineering, Professor, Dean of the Department of Aviation Technology, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Russia, Komsomolsk-on-Amur); +7(4217)24-11-90. E-mail: ssf@knastu.ru.

Колыхалов Дмитрий Геннадьевич – кандидат технических наук, заведующий кафедрой систем автоматизированного проектирования Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); +7(962)286-89-66. E-mail: dgk.knastu@mail.ru.

Mr. Dmitry G. Kolykhalov – PhD in Engineering, Assistant Professor, Head of the Computer Aided Design Department, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Russia, Komsomolsk-on-Amur); +7(962)286-89-66. E-mail: dgk.knastu@mail.ru.

Куриный Владислав Викторович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Машиностроение и металлургия» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: kmtlp@knastu.ru.

Mr. Vladislav V. Kuriny – PhD in Engineering, Associate Professor, Department of Mechanical Engineering and Metallurgy, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: kmtlp@knastu.ru

Иванов Илья Николаевич – аспирант кафедры «Прикладная математика и информатика» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: Ivanov_il@inbox.ru.

Mr. Ilya N. Ivanov – postgraduate student of the Applied Mathematics and Informatics department Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: Ivanov_il@inbox.ru.

Аннотация. Работа посвящена исследованиям совмещенных процессов формообразования трубных заготовок различными средами в процессе гибки-раздачи, обжима-раздачи с одновременным применением термического воздействия. В работе рассмотрены процессы формообразования трубных заготовок на жестких пуансонах, при помощи эластосыпучих тел, рассмотрены особенности формообразования трубных заготовок при одновременной раздаче-обжиме в жестком пуансоне при помощи эластосыпучих тел. Приведены результаты экспериментальных исследований раздачи-гибки трубных заготовок по рогообразному сердечнику. На основании проведенных экспериментов установлены основные особенности деформирования заготовок в совмещенном процессе. Приведен график распределения истинных деформаций в процессе растяжения и сжатия по сечениям рогообразного сердечника. Приведены рекомендации, позволяющие увеличить изгибающий момент и осуществить более качественное формообразование. Сделаны выводы о перспективности применения совмещенных процессов в авиа- и ракетостроении.

Summary. The article is devoted to research of the combined processes of forming tubular billets with various media in the process of bending-expanding, breaking-down -expanding while using thermal effects. The paper discusses the processes of forming tubular billets of hard punches, using elastic-granular materials, the peculiarities of forming tubular billets, while the breaking-down -expanding of crimp in a hard punch using elastic-granular bodies. The article presents experimental studies of the bending-expanding of tubular billets in horn-shaped blanks. The authors established the main features of billet distorting in the combined process. The article shows a diagram of the true distorting distribution in the process of stretching and compression in the horn-shaped blanks. The recommendations allow increasing the bending moment and realizing better shaping. The authors make conclusions about the prospects of the application of combined processes in air and rocket.

Ключевые слова: совмещенные процессы, трубные заготовки, обжим, раздача, гибка, термическое воздействие.

Key words: combined processes, tubular billets, breaking-down, expanding, bending, thermal effect.

УДК 621.7.04

Одной из основных проблем современного машиностроения является технологическая подготовка и переподготовка производства к выпуску новой продукции. Этап технологической подготовки производства связан с большой трудоемкостью, необходимостью оценки возможности производства отдельных высокотехнологичных изделий на имеющемся оборудовании, оценкой технологичности конструкции.

Эти и другие вопросы особенно остро стоят при создании авиационной и ракетно-космической техники, где требования к точности изготовления и минимальным весовым показателям самые высокие в машиностроении.

Одной из важнейших проблем в авиа- и ракетостроении является изготовление конструкций с повышенным ресурсом, отличающихся большим уровнем безотказности и живучести. Особое внимание в этой проблеме отводится повышению эффективности использования процессов листовой штамповки, различными методами которой изготавливается до 75 % деталей планера самолета.

На ранних этапах подготовки производства сложно предсказать поведение материала под действием высоких нагрузок, например, оценить возможности достижения предельных деформаций при формообразовании трубных заготовок. Поэтому необходимо предельно осторожно подходить к выбору тех или иных технологических операций по обработке исходных заготовок. Этот процесс требует проведения большого объема дополнительных научно-исследовательских и опытно-экспериментальных работ, на основе которых можно выработать рекомендации по повышению эффективности предлагаемых технологических процессов.

Формообразование трубных заготовок происходит на жестких штампах, а также с использованием эластичных и эластосыпучих сред. Данные способы формообразования имеют целый ряд недостатков, к которым можно отнести большие усилия, развиваемые на прессах, низкие степени формоизменения. В связи с этим большой интерес представляют технологические процессы формообразования трубных заготовок посредством совмещенных операций.

Совмещённые операции – это одновременное осуществление двух и более операций. Все технологии, осуществляемые с применением термовоздействия, являются совмещёнными, т.к. одновременно происходит деформирование заготовки, её нагрев, охлаждение или дифференцированное термовоздействие.

Также к совмещенным процессам можно отнести процесс раздачи-обжима трубной заготовки, т.к. одновременно осуществляется раздача концов трубы по жёстким пуансонам и обжим её средней зоны эластосыпучей рабочей средой. Такая схема воздействия находит всё

большее применение в технологии формообразования деталей самых разнообразных конструктивно-геометрических форм, где используются универсальные формообразующие элементы штамповой оснастки. При этом в качестве рабочего тела, деформирующего заготовку, могут быть применены новые эластосыпучие среды.

На сегодняшний день штамповка деталей эластосыпучими средами является одним из распространенных и развивающихся видов обработки давлением. Данный вид формообразования приводит к снижению материалоемкости, рациональному использованию оснастки и заготовок, снижению трудоемкости. В последние годы значительно возросло число публикаций и патентов, посвященных использованию данных методов.

Использование в процессе формообразования эластосыпучих сред позволяет достичь более равномерного распределения давления по всему объему, значительно снизить усилие, затрачиваемое на деформирование трубной заготовки, за счет смещения гранул относительно друг друга, значительно увеличить зону внедрения заготовки в эластосыпучую среду, снизить номенклатуру эластичной оснастки, снизить затраты на ее изготовление, поскольку эластосыпучие среды способны принимать любой объем.

На рис. 1 приведён пример раздачи-обжима трубной заготовки с применением эластосыпучих сред.

Рис. 1. Совмещённый процесс раздачи-обжима трубной заготовки:
1 – обойма; 2 – рабочая среда; 3 – нажимной пуансон;
4 – разъёмная матрица; 5 – готовая деталь

На рис. 2 изображён процесс изготовления крутоизогнутых патрубков, который является совмещённым, т.к. одновременно происходит раздача-гибка, дифференцированный нагрев зоны деформирования и охлаждение недеформированной зоны трубы. Из всех существующих способов заводского изготовления крутоизогнутых патрубков наиболее экономичным и производительным является способ раздачи-гибки по рогаобразному сердечнику.

Рис. 2. Совмещенный процесс раздачи-гибки крутоизогнутых патрубков с дифференцированным нагревом

Особенностью процесса, выгодно отличающей его от других известных способов изготовления крутоизогнутых патрубков, является то, что при проталкивании трубной заготовки по сердечнику происходит ее эксцентричная раздача по диаметру, совмещенная с изгибом, в результате чего толщина стенки по выпуклой и вогнутой образующим крутоизогнутого патрубка остается неизменной, равной толщине стенки исходной трубной заготовки.

Необходимо отметить и то, что данный способ является простым в освоении, не требует большого количества оснастки и сложного специального прессового оборудования. Устройство содержит неподвижные траверсы 1, 4, подвижную траверсу 2, которая перемещается по направляющим 3, жестко закрепленную штангу 5, на свободном конце которой установлен сборно-разъемный рогообразный сердечник 6, со стороны вогнутой поверхности которого установлен индуктор 7. На штангу периодически надевают заготовки 8 с последующим проталкиванием их по рогообразному сердечнику посредством гидроцилиндра 10. На подвижной траверсе установлена съемная цилиндрическая втулка 9, предотвращающая потерю устойчивости стенки трубы со стороны заднего торца последней трубной заготовки. Передний торец передней трубной заготовки обрезан под углом и устанавливается острым углом со стороны вогнутой поверхности рогообразного сердечника. Данное техническое решение позволяет предотвратить разрушение переднего торца передней трубной заготовки, т.к. «опасная зона» перемещается с торца внутрь трубной заготовки, где вступает в силу закон неразрывности.

Экспериментально оценивались трубные заготовки из алюминиевого сплава АМг2М с целью выявления предельных возможностей процесса раздачи-гибки по рогообразному сердечнику. Для того чтобы не допустить образование дефектов, необходимо выравнивать напряженно-деформированное состояние (НДС) трубной заготовки (ТЗ) при раздаче-гибке, что позволило бы в значительной степени расширить технологические возможности операции.

Выравниванию НДС в материале ТЗ способствуют следующие мероприятия:

- уменьшение контактного трения между материалом заготовки и оснасткой;
- совершенствование конструкции контактных поверхностей пуансонов;
- выбор режимов нагрева и смазки;
- выбор рациональной формы заготовки и предварительная ее обработка.

Толщина стенки трубы из материала АМг2М была взята равной 1 мм, диаметр сердечника 42 мм. Схема процесса показана на рис. 3, искажение сетки в результате деформации показано на рис. 4. В табл. 1, 2 и 3 сведены данные замеров и вычислений.

Рис. 3. Схема раздачи-гибки трубной заготовки по рогообразному сердечнику:
1 – рогообразный сердечник; 2 – индуктор; 3 – прокладка;
4, 5 – трубные заготовки; 6 – штанга; 7 – траверса

Рис. 4. Деформация сетки при раздаче-гибке
по рогообразному сердечнику

Таблица 1

Образец	Поверхность сердечника	Заготовка 42×1 мм			Переходной участок			Крутоизогнутый патрубок		
		a_1	b_1	S_1	a_1	b_1	S_1	a_1	b_1	S_1
I	Вогнутая	11	11	121	19,8	6	119	27	4,5	121
	Средняя	11	11	154	15	8,2	123	16	7,5	121
	Выпуклая	11	11	121	11	11	121	11,1	11	122
II	Вогнутая	11	11	121	20	6	120	27,1	4,4	120
	Средняя	11	11	121	15,3	7,9	122	16	7,5	121
	Выпуклая	11	11	121	11	11	121	11	11	121
III	Вогнутая	11	11	121	19,8	6,1	121	17,4	4,4	122
	Средняя	11	11	121	15,1	7,9	120	16,1	7,4	120
	Выпуклая	11	11	121	11	11	121	11	11,1	122

Таблица 2

Образец	Поверхность сердечника	Заготовка 42×1 мм			Переходной участок			Крутоизогнутый патрубок		
		a_1	b_1	S_1	a_1	b_1	S_1	a_1	b_1	S_1
I	Вогнутая	11	11	121	21,1	5,7	120	32	3,8	123
	Средняя	11	11	121	17	7,2	122	18	6,7	121
	Выпуклая	11	11	121	11,1	11	122	11,2	10,9	122
II	Вогнутая	11	11	121	19,8	6	119	27,1	4,5	121
	Средняя	11	11	121	15	8,2	123	16	7,5	121
	Выпуклая	11	11	121	11	11	121	11,1	11	122
III	Вогнутая	11	11	121	18	6,6	120	23	5,2	121
	Средняя	11	11	121	13	9,3	121	14	8,7	122
	Выпуклая	11	11	121	11	11	121	11	11	121

Таблица 3

Поворот по сечению, °	$R_H = 0,5D_y$			$R_H = 1,5D_y$			$R_H = 0,5D_y$		
	$-\varepsilon_1 = \varepsilon_3$	$\delta_1, \%$	$\delta_3, \%$	$-\varepsilon_1 = \varepsilon_3$	$\delta_1, \%$	$\delta_3, \%$	$-\varepsilon_1 = \varepsilon_3$	$\delta_1, \%$	$\delta_3, \%$
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
45	0,07	3	4	0,04	2	2	0,02	1	1
90	0,31	29	34	0,29	19	31	0,12	16	28
135	0,82	61	110	0,44	37	67	0,31	26	46
180	1,07	81	180	0,71	51	120	0,42	31	73

На основании проведенных экспериментов установлены следующие данные:

1) Ячейки квадратной формы после деформации ТЗ имеют следующие формы по зонам: на вогнутой части – близкую к прямоугольникам, которые вытянуты по окружному направлению и укорочены в направлении протяжки ТЗ; в промежуточных местах ячейки имеют форму трапеции и также вытянуты по окружному и укорочены по осевому направлению. Линейные и угловые размеры ячеек изменяются с увеличивающейся интенсивностью при переходе от выпуклой поверхности к вогнутой.

2) Параллельные линии до деформации, являющиеся образующими ТЗ, становятся дугообразными, после деформации – эквидистантными образующим патрубка.

3) На выпуклой стороне патрубка размер сетки в продольном направлении практически не изменяется. В связи с этим можно принять тезис о том, что нейтральная линия при раздаче располагается на выпуклой стороне крутоизогнутого патрубка. Площади ячеек изменяются в диапазоне от +1 до -2 %.

4) Окружные линии, параллельные до деформации, после деформации не искривляются, но поворачиваются на некоторый угол. Этот угол не повторяет направление кривизны патрубка. Таким образом, в процессе гибки-раздачи происходит поворот сечений на некоторый угол.

Распределение истинных деформаций при растяжении и сжатии по сечениям сердечника приведено на диаграмме (рис. 5).

Рис. 5. Распределение истинных деформаций в зависимости от угла и радиуса изгиба

В результате экспериментов было установлено, что при $R_{и} = 0,75D_{н}$ угол поворота составляет 15° , при $R_{и} = D_{н}$ угол составляет 11° , при $R_{и} = 1,5D_{н}$ угол составляет 7° , а при $R_{и} = 2D_{н}$ угол составляет 4° .

Вследствие этого на торце патрубка появляется козырек, определяемый величиной k_1 , а задний конец отстает на величину k_2 (см. рис. 4). Появление козырька приводит к отходу труб при $R_{и} = 0,75D_{н}$ на 18...20 %, при $R_{и} = D_{н}$ – на 13...15 %. Сам козырек возникает из-за силы трения, возникающей на вогнутой стороне сердечника, которая превышает силы трения на внешней стороне в несколько раз. В связи с этим на вогнутой стороне волокна металла смещаются против движения ТЗ. При формовке были получены данные о том, что отход из-за козырька составляет 10...15 % при $R_{и} = 0,75D_{н}$, при $R_{и} = D_{н}$ он составляет 5...10 %.

Следовательно, для получения качественного патрубка с целью предотвратить разрушение ТЗ по торцу, добиться радиусагиба, равного половине диаметра патрубка, сократить расходы на 5...10 % необходимо осуществлять процесс одновременной гибки с раздачей, насаживая заготовку острым углом по вогнутой стороне сердечника.

В последней трубной заготовке торец был обрезан под углом, но острый угол протягивался по выпуклой стороне сердечника. Это позволило увеличить изгибающий момент и осуществить более качественное формообразование, что было подтверждено делительной сеткой патрубка. Правильность расчетов была подтверждена замерами сетки, которые показали, что распределение фактических деформаций близко к распределению, полученному расчетными методами.

На рис. 6, а представлены трубные детали, полученные при проведении совмещенных процессов раздачи-гибки, раздачи-обжима, отбортовки с использованием эластосыпучих тел с одновременным термовоздействием. На рис. 6, б представлены пуансоны для изготовления трубных деталей.

Рис. 6. Детали из трубных заготовок (а) и пуансоны для их изготовления (б)

Данные детали были выполнены в результате экспериментального подбора режимов нагружения, смазки, термического воздействия. Результаты экспериментов показали, что реальные значения деформаций в окружном направлении незначительно превышали расчетные, что позволило сделать вывод о правильности схем формовки, смазки, нагрева трубных заготовок. На основе проведенных экспериментов были разработаны рекомендации по использованию совмещенных технологических процессов при производстве авиационной и ракетно-космической техники.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хейн Вин Зо Изготовление трубных конструкций высокой надежности для летательных аппаратов / Хейн Вин Зо, С. Б. Марьин, Д. Г. Колыхалов // Авиационная промышленность. – 2015. – № 3. – С. 31-34.
2. Хейн Вин Зо Анализ процессов и интенсификация изготовления деталей летательных аппаратов методом обжима и раздачи трубных заготовок / Хейн Вин Зо // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре гос. техн. ун-та. Науки о природе и технике. – 2015. – № II-1(22). – С. 13-19.
3. Интенсификация процесса раздачи трубных заготовок из титановых сплавов воздействием импульсного электрического тока / Б. Н. Марьин, Е. А. Макарова, О. В. Попов [и др.] // Действие электромагнитных полей на пластичность и прочность материалов: материалы 4-й Междунар. конф., Воронеж. – Воронеж: ФГБОУ ВО «ВГТУ», 1996. – С. 136-137.
4. Марьин, Б. Н. Интенсификация формообразования деталей из трубчатых заготовок / Б. Н. Марьин, Ю. Л. Иванов, В. М. Сапожников; под ред. Б. Н. Марьина. – М.: Машиностроение, 1996. – 176 с.
5. Пат. 82432 Российская Федерация, МКИ U1 B21D 9/15. Универсальная эластичная матрица для штамповки листовых заготовок с нагревом / Марьин С. Б.; опубл. 27.04. 09. Бюл. № 12.