

УДК 621.98.042

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ДЛИННОМЕРНЫХ ПАНЕЛЕЙ И ОБШИВОК НА БАЗЕ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ*

© 2014 А.Е. Пашков

Иркутский государственный технический университет

Поступила в редакцию 09.09.2014

В статье приведено описание способа формообразования панелей с отдельным получением продольной и поперечной кривизны, соответственно упругопластической гибкой и односторонней обработкой дробью. Приведено описание разработанного оборудования – установок для дробеударного формообразования, зачистки, гибки-прокатки и раскатки ребер длинномерных панелей.

Ключевые слова: *панель, обшивка, дробеударное формообразование, гибка-прокатка, раскатка ребер, установка контактного типа*

Технологический процесс формообразования длинномерных панелей и обшивок на большинстве отечественных предприятий осуществляется методом прессовой гибки с последующей доводкой обдувкой дробью на ручных дробеструйных установках. Недостатками этого метода является низкая точность контура деталей, наличие огранки, высокая трудоемкость и зависимость от квалификации исполнителей. Дополнительной проблемой является наличие в технологическом процессе операции поверхностного упрочнения деталей, которая в большинстве случаев приводит к искажению ранее полученной формы. Проблема усугубляется недопустимостью правки деталей упругопластическим изгибом после поверхностного упрочнения.

Задача формирования новых компетенций российской авиационной промышленности в области производства крупногабаритных панелей, соответствующих требованиям ведущих производителей мирового рынка авиационной техники, в Федеральной целевой программе «Развитие гражданской авиационной техники России на 2002-2010 годы и на период до 2015 года» отмечена как приоритетная, однако до сих пор в отечественной практике полного решения не имеет. В зарубежном авиастроении задача формообразования длинномерных панелей и обшивок решается применением технологии *reep forming* – дробеударного формообразования (ДУФ), которая была изобретена в Германии в конце второй мировой войны, а сразу после войны была вывезена в США, где была засекречена и запатентована. Ниже приведен обзор основных известных зарубежных публикаций и Интернет-сайтов, касающихся технологии ДУФ.

Необходимо отметить, что в большинстве случаев в них приводятся лишь общие сведения о технологическом процессе, не позволяющие в полной мере оценить его эффективность.

В основе процесса ДУФ лежит двухосное удлинение поверхностных слоев ударами дроби. При таком воздействии листовая деталь приобретает поверхность двойной кривизны, которую в отечественной литературе называют «бочкообразной», а в зарубежной – «ложкообразной» (*spoon shape effect*). Для получения поверхностей заданной формы у деталей типа обшивок крыла в зарубежной практике применяют такие технологические приемы, как последовательная обработка наружной поверхности детали и ее продольных кромок с двух сторон, а также применение заневоливания, которое позволяет увеличить кривизну в направлении предварительного упругого изгиба. Особую сложность представляет формообразование перегиба – участка знакопеременной двойной кривизны («седловидной» формы). В большинстве случаев – это многоступенчатый процесс, в котором сочетается обработка дробью различных диаметров, заневоливание и растяжение кромок.

Способы формообразования обшивок крыла, применяемые за рубежом, описаны в работе [1]. Здесь же говорится о способе образования перегиба на монолитно-фрезерованных продольно-орезбренных панелях, сочетающем обработку дробью с удлинением ребер. Схемы обработки, рассмотренные в [1] показаны на рис. 1. Разработчиками технологии и оборудования для дробеударной обработки являются такие компании как MIC (Metal Improvement Company), Wheelabrator, AFCO (Abrasive Finishing Company), США, Rosler, KSA (Kugelstrahlzentrum Aachen), Германия; Sisson Lehmann, Франция; Sonaca Group, Aerosphere Inc., Канада и др.

Пашков Андрей Евгеньевич, доктор технических наук, профессор. E-mail: pashkov_ae@irkut.ru

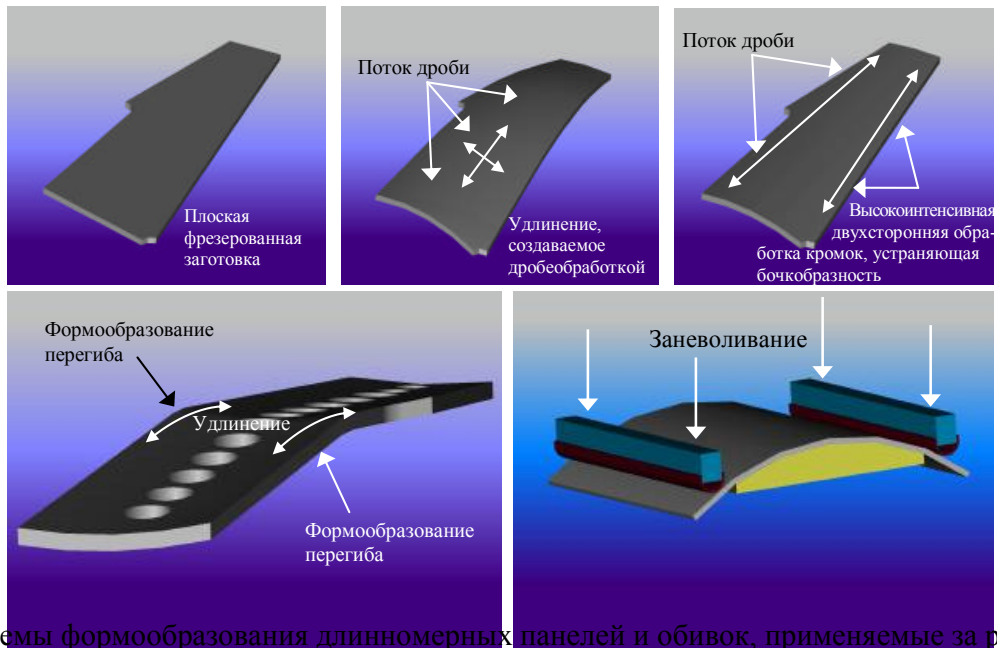


Рис. 1. Схемы формообразования длинномерных панелей и обивок, применяемые за рубежом [1]

В ряде публикаций и сайтов Интернета приводятся схемы дробеударного оборудования, применяемого зарубежными компаниями для формообразования и упрочнения. В работе [2] описана технологическая линия формообразования панелей завода Boeing Commercial Airplane Co в г. Auburn (рис. 2). Линия включает две дробемётные установки, первая из которых (а) предназначена для получения продольной кривизны двухсторонней обработкой кромок дробью диаметром 3,2 мм и оснащена четырьмя подвижными дробемётными аппаратами (по два с каждой стороны). На второй (б) выполняется обработка наружной поверхности панели дробью диаметром 1,12 мм. Для этой цели используются 12 стационарных дробемётных аппаратов (по 6 с каждой стороны для формообразования панелей левых и правых частей крыла). После каждой операции формообразования выполняется зачистка обработанных поверхностей, а по завершению обработки деталь подвергается поверхностному упрочнению дробью диаметром 0,6 мм.

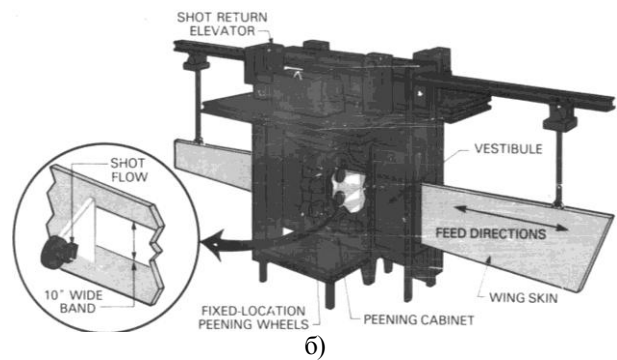
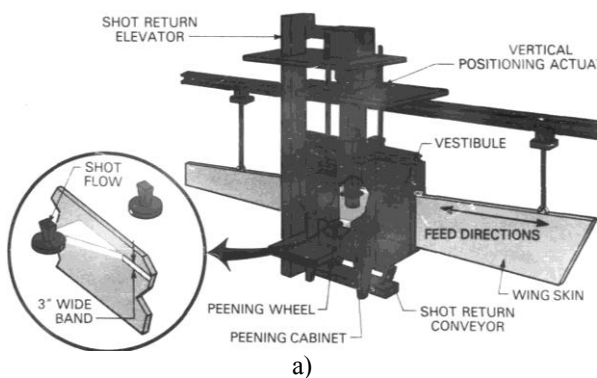


Рис. 2. Технологическая линия дробеударного формообразования фирмы Boeing [2]

На рис. 3 показаны дробеударные установки для формообразования панелей с сайта компании МПС. Информация о конструктивном исполнении оборудования и технологии формообразования на нем панелей в открытом доступе отсутствует.



а)



а)



б)

Рис. 3. Установки компании MIC для дробеударного формообразования (а) и упрочнения (б) панелей

На рис. 4 показана установка MP 20000, фирмы Wheelabrator. На данной установке реализуется двухсторонняя обработка посредством двух четырёхкоординатных роботов, каждый из которых оснащен тремя воздушными соплами. Установка загружается смесью трёх фракций дробы, имеет систему её разделения и очистки и

может быть использована как для формообразования, так и для упрочнения.

Операции зачистки (sanding) поверхности после высокоинтенсивной дробеобработки, а также поверхностного упрочнения (saturation peening) в ряде источников рассматривается как часть технологического процесса формообразования панелей. Оборудование для дробеударного упрочнения широко представлено на рынке. Информации по оборудованию для зачистки панелей гораздо меньше. Согласно [1] в производстве панелей крыла бизнес самолета Galaxy применяется автоматизированный процесс зачистки панелей, обеспечивающий удаление припуска не более 15% от глубины наклепа после обработки дробью. Известен патент США [4] на четырехосевую автоматизированную установку, в которой зачистка обработанной с двух сторон дробью панели выполняется парами лепестковых кругов при помощи устройства, перемещающегося относительно неподвижной детали. Из информации, приведенной на сайте канадской компании Sonaca group, следует, что зачистка панелей после ДУФ может выполняться при помощи ручного инструмента (рис. 5).



Рис. 4. Установка MP 20000 [3]



Рис. 5. Участок ручной зачистки панелей компании Sonaca group

Контроль точности контура панелей за рубежом осуществляется традиционным методом – при помощи шаблонов в свободном и нагруженном состоянии (рис. 6).



а)



б)

Рис. 6. Контроль точности контура панелей: фото с сайта компании MISC (а) и рисунок из работы [3]

В ряде известных публикаций приведены сведения о достигаемой точности контура панелей, получаемых методом ДУФ. В табл. 1 представлены параметры точности контура панелей крыла самолета Galaxy из работы [1]. Как отмечается в [2], достигаемая точность контура

деталей, образуемых с применением вышеописанной технологической линии Wheelabrator, составляет 1,3 мм с приложением допустимой нагрузки 45,36 кг на сечение. Как видно, показатели точности панелей, обеспечиваемые зарубежной технологией ДУФ, относительно невысоки. В связи с этим в большинстве источников говорится о финишной доводке контура деталей, которая в основном выполняется при помощи ручных дробеструйных установок (рис. 7).

Из приведенных сведений можно заключить следующее. Применяемая в настоящее время зарубежная технология ДУФ разработана в 80-х годах прошлого века и реализуется на основе дробеструйных и/или дробеметных установок проходного типа, представляющих собой рабочие камеры с управляемыми устройствами разгона дробы и внешней системы дробеобращения. Данные установки отличаются высокой стоимостью и технической сложностью. Процесс обработки протекает в закрытом пространстве без возможности визуального наблюдения. Конечная форма детали достигается по завершению процесса обработки. Очевидно, что для подготовки управляющих программ процесса ДУФ на зарубежном оборудовании необходимо проведение большого объема опытных работ на натуральных деталях. Такие затраты на подготовку производства не гарантируют достижения требуемой точности. Это означает, что применение данных установок решает проблему механизации операции лишь предварительного формообразования, а для окончательного формирования контура необходима ручная доводка. Процесс формообразования зоны перегиба является длительным и многошаговым, что может сделать эту технологию узким местом в производстве.

Таблица 1. Отклонения контура панелей крыла самолета Galaxy [3]

Средняя толщина полотна		Отклонение контура				Допустимая нагрузка	
		свободное		под нагрузкой			
дюйм	мм	дюйм	мм	дюйм	мм	фунтов/дюйм ²	кг/см ²
0,25	6,4	0,5	1,27	0,020	0,5	15	1,05
0,375	9,5	0,375	9,5	0,025	0,6	20	1,41
0,5	12,7	0,25	6,4	0,030	0,8	25	1,76
>0,5	>12,7	0,25	6,4	0,040	1,0	35	2,46

Таким образом, предприятие, купившее импортное дорогостоящее оборудование, будет вынуждено заказывать опытно-технологические работы, например, у компании MISC, монополиста в данной области, известного своей закрытостью. Кроме этого представляется весьма вероятным, что при эксплуатации такого сверхсложного оборудования технически службам придется

постоянно обращаться к его разработчикам. В рассмотренном выше оборудовании проходного типа отсутствует ряд устройств и систем, обеспечивающих процесс формообразования, в частности система фиксации детали в продольном теоретическом контуре, что многократно усложняет формообразование деталей двойной кривизны. Как свидетельствует практический опыт,

закрепление подвергаемой ДУФ детали в контуре, отличающемся от теоретического, приведет к возникновению неуправляемых упругих напряжений (заневоливанию). Контроль формы такой детали в процессе формообразования с применением носителей теоретического контура (шаблонов контура сечения) также невозможен, поскольку форма поперечных сечений, полученная в положении, не соответствующем теоретическому, при установке детали в это положение (на комплектующем стенде или стапеле) будет утрачена. Для решения данной проблемы необходимы многократные и весьма трудоемкие контрольные операции с транспортировкой детали на контрольный стенд.



а)



б)

Рис. 7. Доводка контура панелей: фото с сайтов компании Sonaca Group (а) b Wheelabrator (б)

Для зачистки поверхности, обработанной крупными фракциями дроби, необходимо приобретение уникального автоматизированного оборудования. Применение процесса зачистки ручным инструментом неизбежно приведет к потере детали полученного контура вследствие удаления части деформированных дробью слоев. В настоящее время такие иностранные компании, как Wheelabrator и Rosler, проводят активную политику по выходу на российский рынок

со своими решениями по ДУФ. В 2007 г представителями Wheelabrator, компании, специализированной на производстве оборудования для поверхностного упрочнения деталей, была принята попытка поставки установки типа MPF одному из российских авиационных авиазаводов. По имеющейся в сети Интернет информации аналогичная установка была поставлена для китайской авиастроительной компании ХАИС, город Х'иан [3]. Известно также о предложении компании Rosler, основная специализация которой – оборудование для финишной поверхностной обработки, решить проблему формообразования панелей крыла самолета SSJ 100 путем разработки и изготовления установок для формообразования и упрочнения с привлечением фирмы KSA – разработчика технологии формообразования панелей баков ракеты Ariane. Одним из условий выполнения работ было указана поставка в Германию нескольких комплектов заготовок панелей для отработки технологии. Очевидно, что специалисты Wheelabrator и Rosler не имеют практического опыта формообразования панелей крыла, и по этой же причине на фотографии установки MPF 20000 (рис. 4) показана фюзеляжная обшивка с линейчатой формой поверхности. О результатах применения данной установки компанией ХАИС какая-либо информация отсутствует.

В отечественной практике задача создания технологии ДУФ также решается с 80-х годов прошлого века, когда был создан ряд проектов установок УФПД проходного типа. Ввиду высокой технической сложности и отсутствия полноценных расчетных методик для определения технологических параметров процесса данные проекты не были реализованы. Параллельно развивался альтернативный подход – комбинированная технология формообразования панелей и обшивок, которая при сопоставимой производительности и меньшей стоимости обеспечивает более широкие технологические возможности и позволяет достичь лучших результатов по точности формы деталей по сравнению с зарубежными аналогами. Разработка выполнена Иркутским государственным техническим университетом (ИрГТУ) при участии Национального института авиационных технологий (НИАТ) и Научно-производственной корпорации «Иркут». Технология была апробирована в опытном производстве панелей самолетов ТУ-204 и ТУ-334 в период с 1987 по 1991 г.г. и затем в 1997 г. – в производстве панелей крыла самолета БЕ-200. Схема процесса комбинированного формообразования панелей и обшивок приведена на рис. 8.

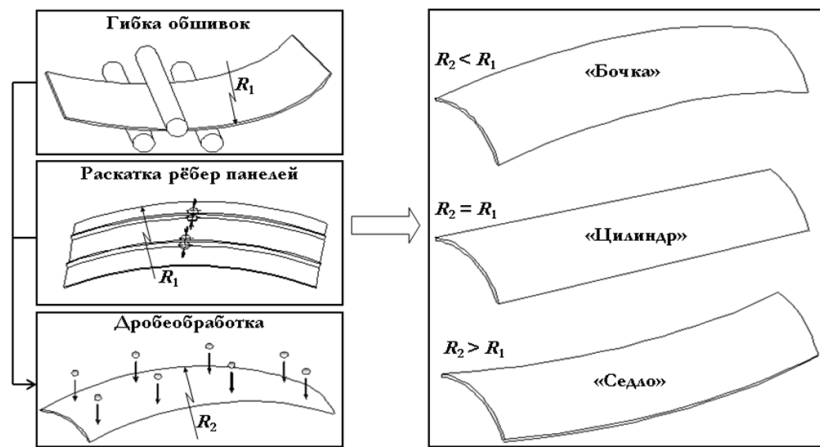


Рис. 8. Схема процесса комбинированного формообразования панелей и обшивок

Главным технологическим преимуществом предлагаемого способа комбинированного формообразования является разделение процесса на достаточно простые операции получения продольной и поперечной кривизны деталей с обеспечением возможности контроля и управления на каждой стадии. Для образования продольной кривизны листовых деталей типа обшивок используется гибка на универсальном прессовом или валковом оборудовании. Для монолитных ребристых панелей данная задача решается раскаткой рёбер.

Дробеударное формообразование, а также последующая зачистка выполняется односторонней обработкой на специальных установках серии УДФ, принципиальным отличием которых от импортного оборудования с проходными рабочими камерами является использование сменных рабочих органов контактного типа – дробеуловителей аппаратов и зачистных головок, перемещающихся относительно детали, закреплённой в продольном теоретическом контуре. Такая схема обеспечивает возможность свободного доступа к детали для контроля её формы в процессе обработки. Обработка реализуется полосами различной высоты, что делает ДУФ и

зачистку подобными фрезерованию со сменной инструмента.

На сегодняшний день благодаря участию ИрГТУ в двух проектах в рамках Постановления Правительства РФ от 09.04.2010 № 218, предлагаемая технология получила существенное развитие. Совместными усилиями НИАТ и ИрГТУ в 2012 г. была разработана новая модель установки для ДУФ-зачистки УДФ-4 (рис. 9). Установка УДФ-4 представляет собой современный обрабатывающий центр, в конструкции которого применены системы линейных и круговых перемещений, основанных на направляющих качения, шарико-винтовых передачах, планетарных редукторах, соединительных муфтах и других механических элементах повышенной жесткости и точности движения производства ведущих мировых производителей. Изготовлен усовершенствованный дробеуловительный аппарат, разработана новая зачистная головка револьверного типа. Таким образом, получен комплект рабочих органов, обеспечивающий обработку полосами одинаковой высоты при ДУФ и последующей зачистке (рис. 10). Установка УДФ-4 внедрена в производство на Иркутском авиационном заводе (ИАЗ), на ней в 2012-2014 г.г. изготовлено шесть комплектов панелей крыла самолета БЕ-200.



Рис. 9. Установка для дробеударного формообразования-зачистки УДФ-4

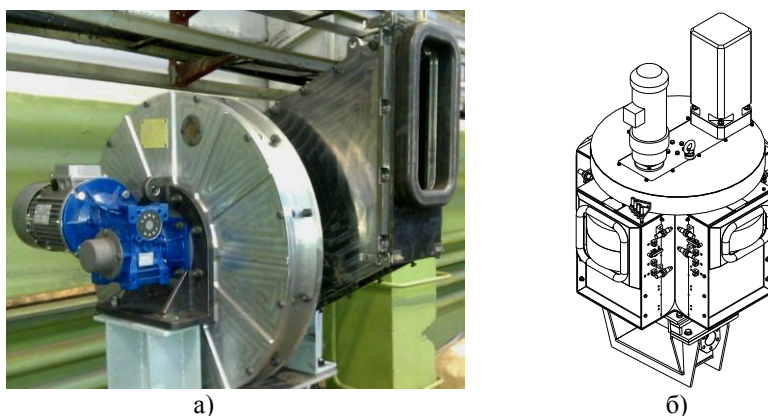


Рис. 10. Рабочие органы установки УДФ-4:
а) дробебетный аппарат 2Д400М, б) зачистная головка ЗГ-3

Для гибки-прокатки листовых деталей типа обшивок в продольном направлении разработана специализированная листогибочная машина путем модернизации серийной машины И2222Б с целью введения системы ЧПУ и приводов фирмы Siemens (рис. 11). Создана специальная установка для раскатки ребер монолитно-фрезерованных панелей УМПД-2 (рис. 12). Серьезной модернизации подвергнута и установка для дробебетного упрочнения УДП-2-2,5 (рис. 13) путем замены системы управления и основных приводов на самые современные. Следует отметить, что разработка сопровождалась проведением большого объема теоретических и экспериментальных исследований, при этом были получены все основные расчетные методики

для определения параметров технологических процессов гибки, ДУФ, зачистки и упрочнения.



Рис. 11. Листогибочная машина И2222БМ

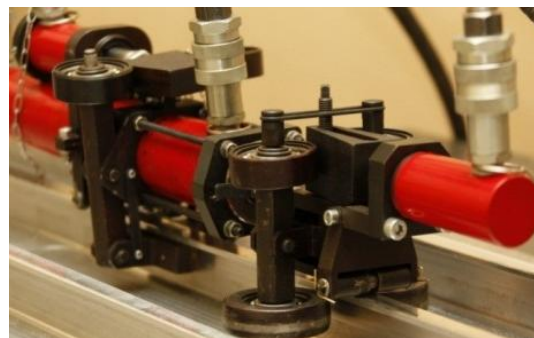


Рис. 12. Установка УМПД-2 для раскатки ребер монолитно-фрезерованных панелей



Рис. 13. Установка дробебетная программная УДП-2-2,5

В настоящее время в рамках текущего проекта ПП-218 разрабатывается комплексная технология и программное обеспечение для расчета параметров технологического процесса, выполняемого в последовательности «гибка (раскатка ребер) – ДУФ – зачистка – упрочнение». Установка УДФ-4 дооснащается рядом автоматизированных систем: фиксации и управления формой обрабатываемой детали, смены инструмента и контроля контура. На основе выполненной разработки может быть создана отечественная отраслевая технология комбинированного формообразования-упрочнения крупногабаритных обшивок и панелей на основе комплекса оборудования с ЧПУ, включающего установку дробеударного формообразования-зачистки УДФ-4М, установку дробеметную программную для упрочнения длинномеров УДП-2-2,5М, оборудования для упругопластической гибки, в качестве которого могут быть использованы листогибочная машина И2222БМ и гидравлический пресс для подгибки утолщений типа ПП-250М, а также установку для раскатки ребер. Пропускная способность предлагаемого комплекса составит 100-150 комплектов панелей

в год. Точность формообразования (отклонение контура деталей) – 0,5-0,8 мм.

**Представленная в рамках данной статьи работа проводится при финансовой поддержке правительства Российской Федерации (Минобрнауки России) по комплексному проекту 2012-218-03-120 «Автоматизация и повышение эффективности процессов изготовления нового поколения на базе Научно-производственной корпорации «Иркут» с научным сопровождением Иркутского государственного технического университета» согласно постановлению Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 г. №218.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Ramati, S. Single piece wing skin utilization via advanced peen forming technology / S. Ramati, G. Levasseur, S. Kennerknecht // 7-th Int. Conf. on Shot Peening. – Warsaw, Poland, 28-30 Sept. 2000 (ICSP-7). P. 1-18.
2. Vaccari, J.A. Peen forming enters computer age // American Machinist. 1985. June. P. 91-94.
3. Каталог Wheelabrator Group // <http://pdf.directindustry.com/pdf/wheelabrator-group/wheelabrator-mp20000-aircraft-wing-peening-system/29354-237778.html>
4. Automatic or manual four-axes sanding machine system for sanding and/or finishing a vertically held contoured // US Patent. US 4461124 A

TECHNOLOGICAL COMPLEX FOR LONG-LENGTH PANELS AND SKINS FORMING ON THE BASIS OF DOMESTIC EQUIPMENT

© 2014 A.E. Pashkov

Irkutsk State Technical University

In article the way of panel forming with the separate realization of longitudinal and transversal curvatures by means of elastoplastic bending and one-sided peen forming respectively, is shown. Description of the plants for peen forming, sanding, roll-bending and ribs rolling of large panels is given.

Key words: *panel, skin, peen forming, roll-bending, ribs rolling, switch-type peening machine*