

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА ГНУТОЛИСТОВЫХ ПРОФИЛЕЙ НА САМОЛЁТОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРЕДПРИЯТИИ

© 2011 М.В. Савин¹, П.М. Попов¹, С.Б. Марьин²

¹ Институт авиационных технологий и управления
Ульяновского государственного технического университета

² Комсомольский-на-Амуре Государственный технический университет

Поступила в редакцию 12.05.2011

В статье авторы рассматривают процедуры проведения анализа методов повышения эффективности технологических процессов и классификатор методов производства гнутолистовых профилей на авиастроительном предприятии. Рассматривают схемы гибки профилей в открытых и закрытых штампах, изготовление профилей в инструментальной фильере и методом волочения, метод гибки с локальным нагревом зон сгиба, а также возможные дефекты, возникающие при выполнении технологического процесса производства профилей в валковых парах, возникновения кромочной волнистости на плоских элементах, развитие периодических изломов на криволинейных полках, возникновения хомутов и мелких гофр в производстве тонких гнутолистовых профилей.

Ключевые слова: эффективность технологических процессов, классификатор методов, гнутолистовые профили, дефекты.

Гибку профилей из листовых заготовок производят различными методами согласно классификатору, разработанному в предыдущих работах и на производстве. Следовательно, согласно [1], данные методы изготовления имеют свою область применения и различную эффективность в отношении обеспечения бездефектности периферийных элементов (рис. 1).

Гибка в кромкогибочных устройствах (машинах) сводится к осуществлению гибки концевой части листовой заготовки или получению детали с несколькими перегибами, где гибка производится со свободным перемещением материала перпендикулярно линиигиба. В этом случае схема гибки близка к чисто пластическому изгибу. Для получения деталей в кромкогибочных машинах осуществляется через перемещение материала перпендикулярно линиигиба, когда перемещение *ограничивается* за счет смещения оси вращения или непрерывного поджатия кромок с помощью гидроцилиндра. Получение профиля в кромкогибочных устройствах происходит в результате эффекта изгибающего момента и сжимающей силы при формообразовании угла с малым относительным радиусом (рис. 2).

Приложение сжимающей силы происходит благодаря более короткой, чем при обычной гибке, *Савин Максим Валерьевич, старший преподаватель кафедры «Самолетостроение».*

Попов Петр Михайлович, доктор технических наук, профессор кафедры «Самолетостроение».

E-mail: ptporov2008@rambler.ru.

Марьин Сергей Борисович, кандидат технических наук, доцент. E-mail: office@knastu.ru.

траектории перемещения оконечной части заготовки. Для уменьшения длины траектории движения торца заготовки на заданную величину Δl , в кромкогибочных устройствах, предназначенных для осуществления стесненного изгиба, смещают ось вращения поворотной части устройства в верхнюю полуплоскость относительно боковых поверхностей подвижного и неподвижного корпусов на расстояние h . Сжимающая сила P_t обеспечивает заданную траекторию движения торца заготовки.

Применение кромкогибочных устройств имеет следующие недостатки: высокая стоимость оборудования, относительно низкая точность получаемых деталей, ограниченные технологические возможности (сравнительно небольшая длина профиля и весьма ограниченный состав типоразмеров профилей по сечению), низкая производительность.

Гибка в штампах осуществляется при стационарной позиции заготовки или в передвижку. Гибка при стационарной позиции заготовки, то есть в позиции – “передвижка”, когда допускаются разнообразные схемы (рис. 3). Недостатком этой схемы является низкая точность деталей и ограниченные технологические возможности в отношении номенклатуры изготавливаемых профилей.

При формовке *эластичной средой* (рис. 4) периферийные элементы могут быть получены бездефектными, однако и здесь существуют проблемы базирования заготовки и обеспечения точности размеров элементов детали по ширине.

А вот в схемах осадки *волнообразной заготовки* основным дефектом горизонтальных полок

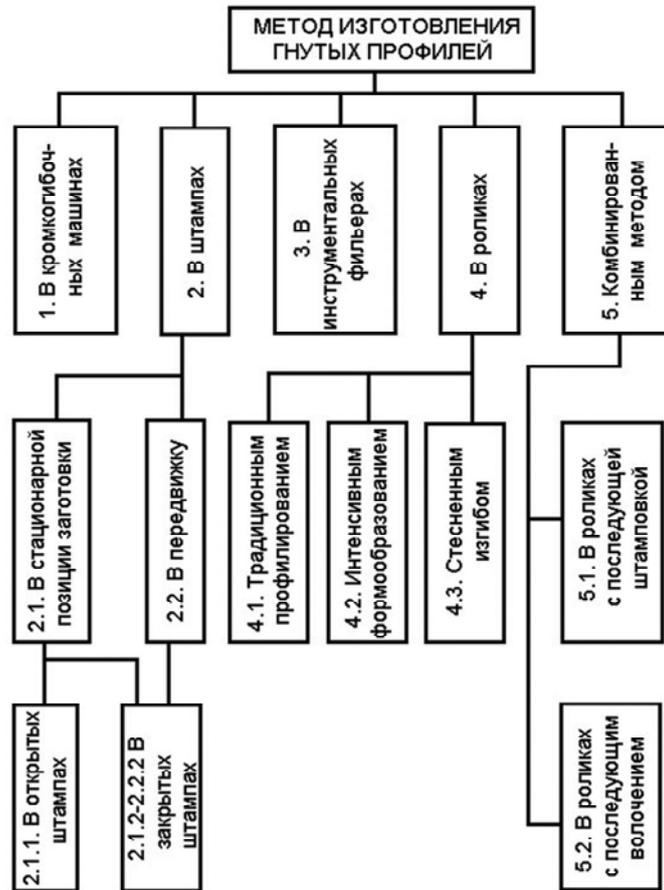


Рис. 1. Классификатор методов изготовления гнутых профилей

является их неплоскостность, связанная со спецификой процесса формообразования, из-за эффекта пружинения.

Гибка волочением через инструментальную фильеру позволяет изготавливать разнообразные по форме поперечного сечения детали.

Рабочий контур инструментальной фильеры (профилирующего инструмента) представляет собой сложную криволинейную поверхность, вследствие этого поперечное сечение деформируемой заготовки переменено вдоль направления движения, а усилие осадки (тангенциального сжатия) краевых элементов изменяется по длине формообразующей части инст-

рументальной фильеры (рис. 5). Это является основным отличием процесса формоизменения протягиванием через фильеру от процессов изготовления профилей в штампах или кромкогибочных машинах.

В способе изготовления профилей из труднодеформируемых материалов (рис. 6) полосу предварительно изгибают в профиль заданного сечения в штампе, затем протягивают профилированную заготовку через разъемную фильеру, производя осаживание полок на величину Dh , и получают профиль с малыми радиусами и утолщением материала по зонам сгиба. Разрыв образца устраняется, благодаря усилию подпора.

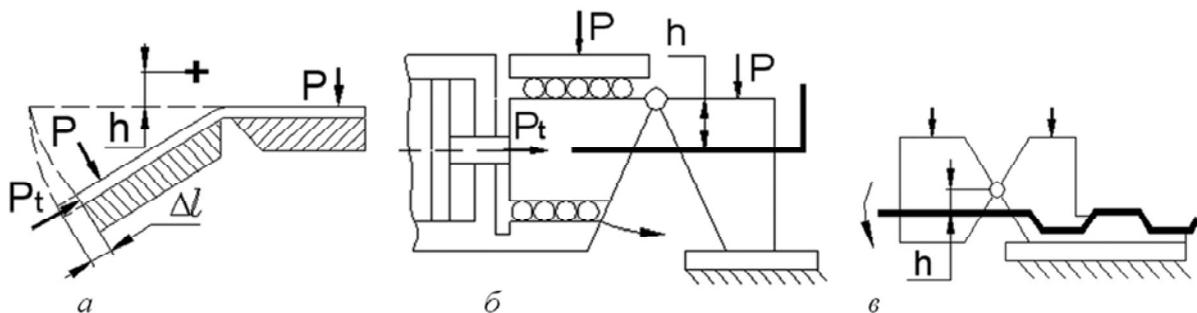


Рис. 2. Схема гибки в кромкогибочных устройствах: а, б – профилей; в – гофра

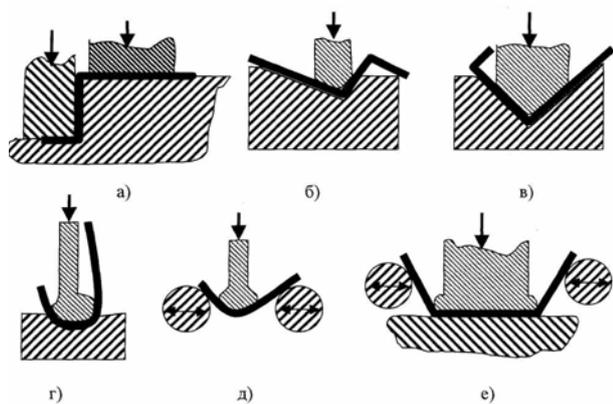


Рис. 3. Схемы гибки профиля в открытых штампах:

а – отгибкой; б, в, г – движением пуансона в полость жесткой цельной матрицы; д – движением пуансона между регулируемыми цилиндрическими оправками; е – движением пуансона между регулируемыми оправками с созданием противодействия

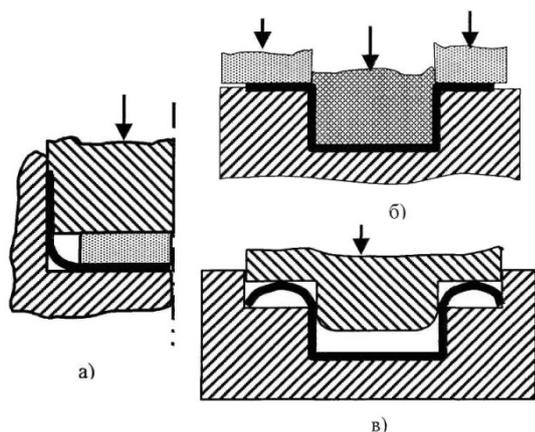


Рис. 4. Схемы гибки профиля в закрытых штампах:

а – схема с торцевым поджатием; б – формовка эластичной средой; в – осадка волнообразной заготовки

В последнее время в авиастроении рекомендуется использование *гибка в роликовой оснастке*, когда технологический процесс ориентирован на интенсивное деформирование и стесненный изгиб [2].

Процесс гибки профилей прокаткой в роликах аналогичен гибке волочением через роликовую фильеру. Основное отличие заключается в том, что ролики в данном случае выполняются приводными и заготовка перемещается роликами за счет сил трения. Процесс гибки профиля здесь производится за несколько переходов, с использованием гибочно-прокатных станков с роликовым формирующим инструментом.

Процесс профилирования заключается в последовательном изменении формы поперечного сечения исходной заготовки (полосы, листа, лен-

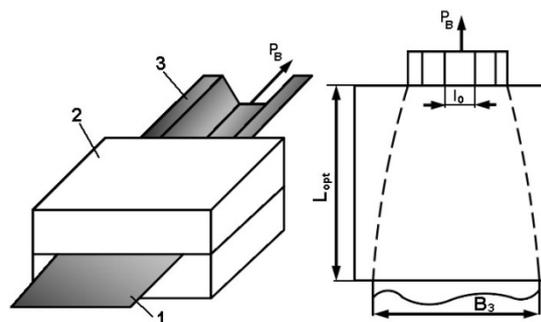


Рис. 5. Формообразование профилей в инструментальной фильере

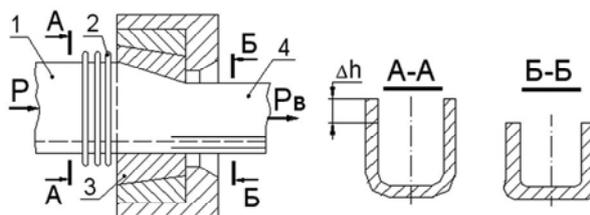


Рис. 6. Способ изготовления волочением профилей из труднодеформируемых материалов:

1 – заготовка; 2 – индуктор; 3 – разъемная фильера; 4 – профиль

ты) при прохождении ее через ряд вращающихся навстречу друг другу пар приводных горизонтальных и вертикальных (холостых) валков (роликов). При этом процесс подгибки протекает не сразу в каждой паре валков, а постепенно на некотором участке плавного перехода, то есть в очаге деформации, находящемся перед валками. Процесс профилирования является непрерывным, а при сварке концов заготовок или рулонов ленты – бесконечным.

Технологический процесс профилирования совмещается в одной непрерывной линии с другими производственными процессами, в результате чего краевые подгибаемые участки профилей в зонах плавных переходов получают неравномерно распределенные по ширине продольные остаточные деформации растяжения. Вследствие набегания пластических деформаций полок по отношению к донной части профиля возникает *потеря устойчивости сжатых краевых элементов*, которая выражается в волнистости профилей и наличии с определенной периодичностью, изломов.

На рис. 7 приведена угловая зона, характеристики различных методов и соответствующие эпюры окружных деформаций в зоне сгиба. Метод интенсивного деформирования обладает рядом преимуществ перед традиционным профилированием и имеет более *широкие технологические возможности* изготовления широкополочных профилей методом стесненного изгиба [3].

При стесненном изгибе достигается малый радиус зон сгиба (меньше допустимого для дан-

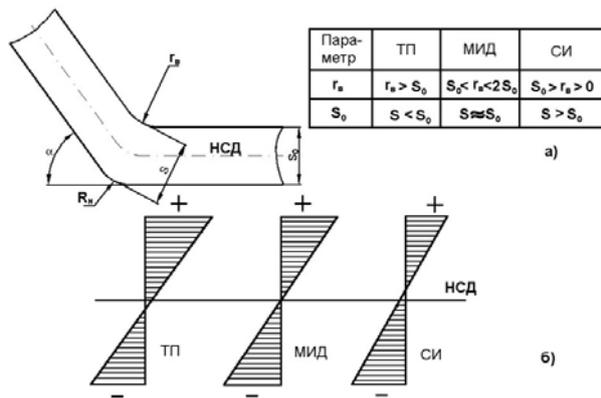


Рис. 7. Угловая зона и окружающие деформации при различных методах изготовления профиля в роликах:

а – зона сгиба и характеристики методов; б – эпюры окружающих деформаций

ного материала) и утолщение в уголкового материала) и утолщение в уголкового материала) и утолщение в уголкового материала) за счет придания заготовке волнообразной формы с последующей ее осадкой.

Комбинированный способ гибки предусматривает изготовление волнообразной заготовки в роликах с последующей осадкой ее в закрытом штампе до получения окончательной конфигурации детали, что обеспечивает повышение пластичности и качества профилей из труднодеформируемых материалов, в частности из ВКА-2.

По результатам экспериментов на научном предприятии (совместно с НИАТ) создана установка для локального нагрева зон сгиба в процессе гибки – прокатки через роликосую пару (рис. 8) [2].

Установка обеспечивает нагрев через процедуру пропускания тока высокой плотности через пару формирующих заготовку 1, роликов – нижнего 2 и верхнего 3. Рабочие валки клетки изолированы текстолитовыми втулками от станины. Верхний и нижний шпиндели 4, установленные на подшипники 5, изолированы от корпуса шестеренной клетки. Фланцы рабочей клетки изготовлены из изолирующего материала. Для установки и подключения петли 8 предус-

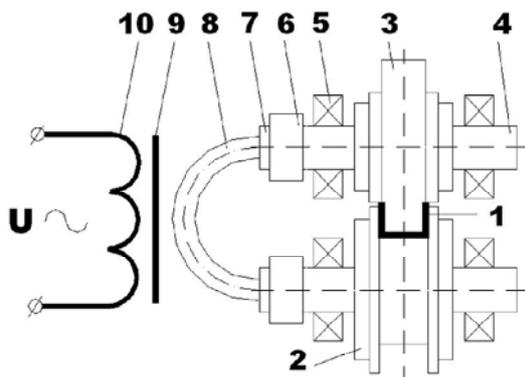


Рис. 8. Гибка–прокатка с локальным нагревом зон сгиба

мотрены соединительные втулки 7, изготовленные из меди и закрепленные гайками 6. Для создания тока высокой плотности использован мощный понижающий трансформатор с первичной обмоткой 10, магнитопроводом 9 и вторичной обмотки в виде медной петли 8.

На ряду с преимуществами, такой способ имеет следующие недостатки:

а) Неравномерность температурного поля приводит к появлению трещин на наружной стороне зоны сгиба;

б) Наличие большого числа технологических параметров влияющих на процесс приводит к достаточно трудоемкой и длительной стадии пусконаладочных работ.

Рассмотрим процедуры по анализу дефектов при производстве гнутолистовых тонкостенных профилей в валковых парах.

Разработка технологии производства гнутых профилей в роликах требует учета ряда факторов процесса формообразования с целью предупреждения их возможных дефектов.

Дефекты пространственной формы возникают вследствие различного вида нарушений режимов и схем формообразования. Продольный прогиб профиля (рис. 9, а) может иметь место вследствие следующих причин: ошибка в выборе диаметров формирующих роликов, неточное положение оси профилирования в вертикальной плоскости, неравномерный зазор роликосого калибра и отклонения ширины заготовки, что искажает настройку устройства. Такая разновидность дефектов наблюдается на профилях практически всех типоразмеров, из-за различия продольных деформаций подгибаемых полок и дна профиля, а так же вследствие нарушения режимов и схем формообразования. Однако продольный прогиб устраняется настройкой правильно-

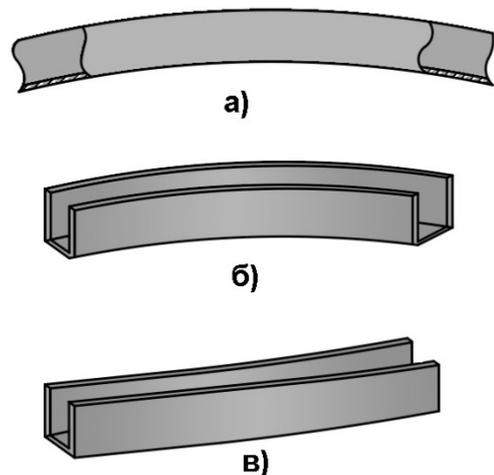


Рис. 9. Дефекты гнутых профилей: а – продольная кривизна; б – саблевидность; в – скрутка

го устройства, но его воздействие при большой кривизне выходящего профиля все-таки может привести к появлению неустраняемого дефекта – это кромковой волнистости.

Саблевидность профиля (рис. 9, б) происходит вследствие таких причин, как: неточное положение оси профилирования в горизонтальной плоскости, а так же неравномерного зазора роликового калибра, либо бокового смещения заготовки на предварительных переходах, либо саблевидности исходной заготовки (более 3 мм/м), или ошибочной схемы формообразования несимметричного профиля, и неверной настройки правильного устройства, и т.п.

Скрутка профиля (рис. 9, в) может происходить из-за ошибок в выборе схем формообразования, смещения оси профилирования и неравномерности зазора в роликовых калибрах, а так же отклонений параметров заготовки (ее саблевидности, разнотолщинности или избытка ее ширины при использовании закрытых роликовых калибров), неправильной настройки *правильного блока* и др. Скрутка так же является следствием несбалансированности деформационных характеристик подгибаемых полок и др.

Отклонение размеров сечения профиля от номинальных размеров проявляется в недоформовке профиля по высоте (рис. 10, а) отклонениях по ширине (рис. 10, б), пружинении (рис. 10, в) и отклонениях кривизны зон сгиба (рис. 10, г). Так же недоформовка профиля по высоте связана с заниженной шириной заготовки или с раскрытием роликового калибра.

Определяется величина пружинения $\Delta\Theta$ как:

$$\Delta\Theta = \frac{3\sigma_{\tau}}{E} \cdot r \cdot \Theta, \quad (1)$$

где σ_{τ} , E – предел текучести и модуль Юнга материала соответственно, МПа; r – внутренний относительный радиус зоны сгиба.

При интенсивном деформировании пружинение значительно меньше, чем при традиционном

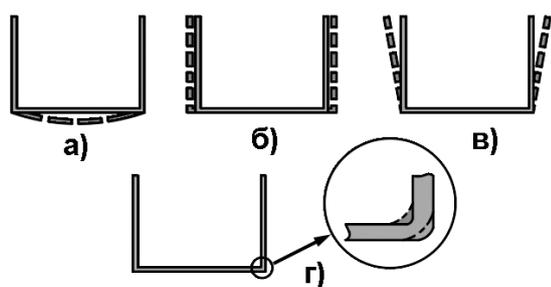


Рис. 10. Дефекты гнутых профилей:

а – недоформовка по высоте; б – отклонение размера по ширине; в – пружинение; г – отклонение кривизны зон сгиба

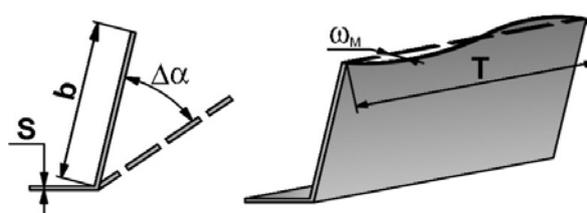


Рис. 11. Возникновение кромковой волнистости на плоских элементах

профилировании, поэтому его на практике учитывают при разработке схем формообразования.

Далее рассмотрим кромковую волнистость (рис. 11), то есть наиболее часто встречающийся дефект при изготовлении тонкостенных широкополочных профилей, которая возникает при жестких режимах формовки тонкостенных элементов с параметром тонкостенности $b/s \geq 20$ и углами подгибки за проход $\Delta\alpha \geq 15 - 30^\circ$ (где значения интерпретируются, как меньшие значения для $b/s \sim 100$, большие значения для $b/s \sim 30$). Согласно исследованиям НИАТ и проектировщиков исследуемого предприятия отмечено, что *допустимая амплитуда кромковой волнистости* $\omega_M = 2$ мм (ГОСТ 8282-83, ГОСТ 8278-83, ГОСТ 8283-93). Для Z – образных профилей (ГОСТ 13229-78) и неравнополочных швеллеров (ГОСТ 8281-80), здесь дополнительно накладываются требования и по минимальной длине волны $T=500$ мм.

Предельные отклонения размеров и формы по DIN 59413 накладывают еще более жесткие требования на значение амплитуды волны – волнистость в пределах допуска на линейные размеры поперечного сечения профиля - 0,3 мм при шаге волны не менее $T = 500$ мм.

При высокой жесткости подгибаемых полок имеет место как кромковая волнистость, так и излом полки. Периодические изломы подгибаемых криволинейных или многоэлементных подгибаемых полок имеют несколько другой диапазон параметров элементов: для $b/s \geq 20$ с углами подгибки за переход $\Delta\alpha \geq 25 - 40^\circ$ (рис. 12).

Для полок с отношением тонкостенности $b/s \geq 30 - 50$ характерно проникновение излома дальше зоны сгиба потерявших устойчивость отбортовок до зоны сгиба всей подгибаемой полки.

Полки тонкостенных профилей типа швеллера с отбортовками, С-образного сечения для $b/s \geq 50$ теряют устойчивость с возникновением гофрообразования в виде изломов из-за незначительного отклонения по вертикали как основных валковых пар так и правильных роликов от горизонтальной оси профилирования $\Delta Y = 1 - 2$ мм, что на практике учитывается при настройке стана (станка).

Возникновение же “хлопунов” на плоских внутренних элементах тонкостенных профилей (рис. 13) объясняется несоответствием требова-

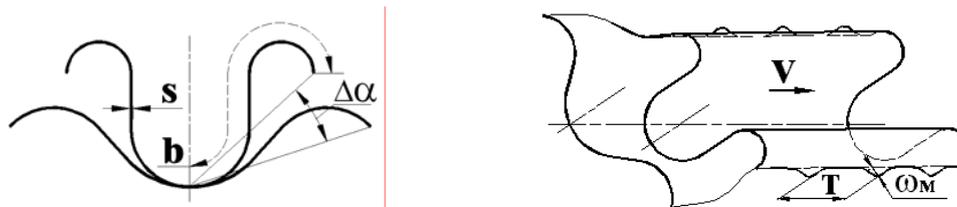


Рис. 12. Развитие периодических изломов на криволинейных полках

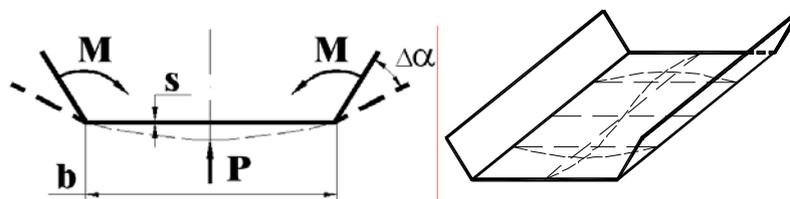


Рис. 13. Возникновение хлопнуов на плоских внутренних элементах

ниям по зазорам (z) в рабочих калибрах роликовых пар $z < 0,8 - 0,9s$, вследствие чего происходит неравномерная раскатка широких элементов профиля (из-за биения зазора), которые в сжатом состоянии теряют устойчивость в виде *выпучивания с максимальным прогибом в середине раскатанного элемента*, причем – *направление выпучивания* поочередно меняется с каждой волной.

Экспериментами в НИАТ и на исследуемом предприятии, выяснилось, что возникновение мелких поперечных гофр вблизи элементов жесткости (рис. 14) наблюдается крайне редко и только при толщинах заготовки менее 1.0 мм и только в случаях осадки элементов жесткости типа рифтов [2]. Причиной их, совершенно очевидно, является неблагоприятное сочетание силовых факторов при осадке участка донной части заготовки с резким изменением жесткости в локальной области.

На практике и при проведении экспериментов так же установлено, что дефекты поверхности профиля проявляются и в виде задириков, царапин, разрушения покрытия, и расслоения профиля (рис. 15, 16). Причиной таких дефектов являются жесткие схемы формообразования

(большие контактные напряжения), а так же не совсем надлежащее качество поверхности формирующих роликов, зазор в калибре, а так же, как обычно – избыточная ширина заготовки для профиля, изготавливаемого в закрытых калибрах и др. При изготовлении, например, тонкостенных стальных профилей без покрытия, проблем, связанных с качеством поверхностей, обычно не возникает.

Качество тонкостенных профилей с толщиной $S = 0,3 - 2,0$ мм, изготавливаемых на многоклетевых профилегибочных станах (станках) определяется в основном схемами формообразования заготовки, шириной заготовки B_3 , параметрами оборудования и точностными характеристиками как оборудования, так и валковой оснастки и другими причинами и недостатками технологии.

Таким образом, анализ методов повышения эффективности технологических процессов в организации производства гнутолистовых профилей на самолетостроительном предприятии позволяет судить об узких местах в процессах их изготовления и принятия оптимальных производственно-технических решений по совершенствованию организации производства и технологии.

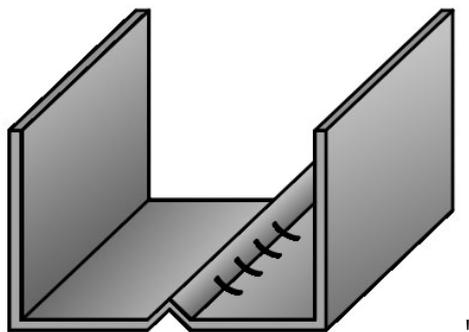


Рис. 14. Мелкие гофры



Рис. 15. Типичные формы гофрообразования краевых подгибаемых элементов тонкостенных профилей

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

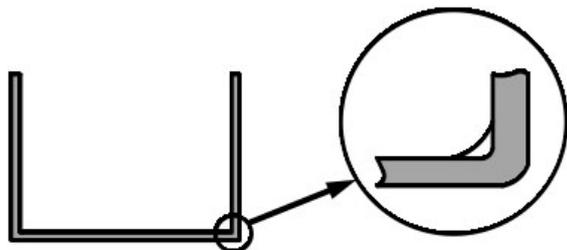


Рис. 16. Отслоение покрытия

1. Братухин А.Г. Развитие авиационной промышленности в условиях конверсии и рыночной экономики // Авиационная промышленность. 2006. № 5. С. 25-30.
2. Романенко В.П., Харитонов Е.А., Нестеров Д.В. Мини-станы для производства тонкостенных гнутых профилей // Производство проката. 2000. № 7.
3. Колганов И.М., Перфильев О.В., Ляшко Ф.Е. Процедуры моделирования процессов изготовления тонкостенных профилей стесненным изгибом методом конечных элементов // Известия Самарского научного центра РАН. 2010. Т. 12. № 4(2). С. 390-394.

THE ANALYSIS OF METHODS OF INCREASE EFFICIENCY OF TECHNOLOGICAL PROCESSES IN THE ORGANIZATION OF MANUFACTURE OF BENT SHEETS STRUCTURES AT THE AIRCRAFT CONSTRUCTING ENTERPRISE

© 2011 M.V. Savin¹, P.M. Popov¹, S.B. Maryin²

¹Institute of Aviation Technologies and Managements,
Ulyanovsk State Technical University

²State Technical University, Komsomolsk-on-Amur

In clause authors consider procedures of carrying out of the analysis of methods of increase of efficiency of technological processes and the qualifier of methods of manufacture the bent sheets structures at the aviabuilding enterprise. Consider schemes are flexible structures in the open and closed stamps, manufacturing of structures in tool filer and a method of drawing, a method the possible defects arising at performance of technological process of manufacture of structures in cylinders pairs, occurrence regional sinuosity on flat elements, development of periodic breaks on curvilinear shelves, occurrence of collars and fine corrugations in manufacture thin the bent sheets structures are flexible with local heating zones of a bend, and also.

Key words: efficiency of technological processes, qualifier of methods, bent sheets structures, defects.

Maxim Savin, Senior Lecturer at the Aircraft Construction Department.

Petr Popov, Doctor of Technics, Professor at the Aircraft Construction Department. E-mail: pmpopov2008@rambler.ru.

Sergey Maryin, Candidate of Technics, Associate Professor. E-mail: office@knastu.ru.