

ОПТИМИЗАЦИЯ АНИЗОТРОПИИ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОБШИВОЧНЫХ ЛИСТОВ С ЦЕЛЬЮ МИНИМИЗАЦИИ РАЗНОТОЛЩИННОСТИ ПРИ ОБТЯЖКЕ

© 2017

С.В. Сурудин, кандидат технических наук, ассистент кафедры обработки металлов давлением
Я.А. Ерисов, кандидат технических наук, доцент кафедры обработки металлов давлением
И.Н. Петров, студент института ракетно-космической техники
Самарский университет, Самара (Россия)

Ключевые слова: формообразование обтяжкой; алюминий-литиевый сплав 1441; анизотропия механических свойств; разнотолщинность; коэффициенты поперечной деформации.

Аннотация: В работе проведено компьютерное моделирование процесса обтяжки листов с различной анизотропией свойств в программном комплексе PAM-STAMP 2G. Для исследования влияния анизотропии свойств на разнотолщинность применялось центральное композиционное планирование, которое включает полный и дробный факторный эксперименты и некоторое число дополнительных опытов, зависящее от числа факторов. В качестве переменных факторов модели использовались следующие механические свойства материала: предел прочности, предел текучести, равномерное относительное удлинение, коэффициенты поперечной деформации.

После моделирования всех вариантов обтяжки проведен регрессионный анализ результатов и составлена математическая модель зависимости разнотолщинности от анизотропии свойств. Было установлено, что для минимизации разнотолщинности листовую заготовку необходимо так ориентировать относительно стола пресса, чтобы направление обтяжки совпадало с направлением максимального показателя анизотропии, а поперечное направление обтяжки совпадало с минимальным показателем анизотропии.

Путем использования известных методов поиска глобального минимума функции была определена оптимальная анизотропия механических свойств, обеспечивающая минимальную разнотолщинность (19,62 мкм) для данной схемы обтяжки обшивок из алюминий-литиевого сплава 1441: предел прочности – 430 МПа, предел текучести – 280 МПа, равномерное относительное удлинение – 14 %, коэффициенты поперечной деформации под углом 0° и 45° к направлению прокатки – 0,65, под углом 90° – 0,35. Направление прокатки совпадает с направлением обтяжки.

Рекомендовано на предприятиях обеспечивать входной контроль не только по механическим свойствам, но и по коэффициентам поперечной деформации, так как именно они оказывают наибольшее влияние на получение необходимой формы изделия.

ВВЕДЕНИЕ

Освоение новых процессов формообразования обтяжкой высокотехнологичных обшивок летательных аппаратов из алюминиевых сплавов требует надежных знаний об их механических свойствах, а также их анизотропии. Кроме того, необходимы сведения о влиянии реологических свойств деформируемых материалов на напряженно-деформированное состояние очага деформации, определяющее характер развития деформации в этих процессах и формирующее качество готового изделия. Имеются работы последних лет, посвященные решению частных технологических задач по совершенствованию процессов формообразования обтяжкой, в которых вопрос о влиянии анизотропии механических свойств затрагивается слабо либо не затрагивается совсем. Так, в работах [1–3] описываются особенности применения упругих элементов при формообразовании обтяжкой. В работах [3–5] рассматриваются вопросы учета влияния пружинения при применении многосекционного пуансона. Дифференциальной обтяжке с контролем зоны наибольшего напряжения и деформации посвящены работы [6; 7]. Учет анизотропии свойств при построении диаграммы предельного деформирования показан в работе [8]. В публикациях [9–11] сделан акцент на описании особенностей конструкции пресса и его зажимных устройств. Моделированию операций формообразования обтяжкой с учетом перемещения зажимных устройств и положения стола пресса посвящены работы [12; 13].

Однако разнотолщинность готовой обшивки после обтяжки в основном является следствием не кинематических параметров формообразования, а неконтролируемых факторов, таких как неодинаковое внешнее трение, неодинаковое реологическое поведение деформируемого материала, задаваемое анизотропией свойств листовых полуфабрикатов [14–16].

Параметр разнотолщинности влияет как на правильность геометрической формы оболочки, что важно для аэродинамических показателей, так и на процесс установки обшивки на каркас самолета, упрощая сборку планера самолета. К тому же отличия по толщине в различных областях обшивки влияют на пружинение, увеличивая его эффект.

В связи с этим для изучения влияния анизотропии свойств на параметр разнотолщинности в данной работе проведено компьютерное моделирование процесса обтяжки в программном комплексе PAM-STAMP 2G.

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ РАЗНОТОЛЩИННОСТИ ОБШИВОК

Моделируемая схема обтяжки осуществляется в следующей последовательности. Заготовка предварительно растягивается и обертывается вокруг обтяжного пуансона, а затем подвергается дополнительному растяжению с целью вывода всех ее элементов за предел текучести. Данная схема обтяжки может быть реализована на прессе, оснащенном системой автоматизации, например на прессе типа FEKD, за счет синхронного

движения левого и правого балансиров с зажимами и стола прессы с установленным на нем обтяжным пуансоном [17; 18].

Данная кинематическая схема была смоделирована в программе RAM-STAMP 2G следующим образом. Для элементов заготовки в области зажимных губок задавалось перемещение, соответствующее кинематике прессы. После оборачивания заготовки вокруг пуансона моделировалось его перемещение, при этом зажимные губки фиксировались в неизменном положении.

Геометрия обтяжного пуансона приведена на рис. 1. В конечно-элементной модели использовались четырехузловые оболочечные конечные элементы с пятью точками интегрирования по толщине заготовки. Радиусы линий, пересекающихся в точке O , соответственно равны: продольный по формообразующему контуру $R_1=766$ мм, поперечный по второй кривизне $R_2=9187,6$ мм. Прогиб поперечного контура оболочки в точке O равен $f_0=71$ мм. Длина формообразующего контура обтяжного пуансона $2L$ равна 2616 мм.

Размеры листовой заготовки равны 2620×2280 мм, толщина 2 мм. Для описания поведения материала заготовки – свариваемого алюминий-литиевого сплава 1441 – использовалась модель ортотропного упругопластического материала (Hill48 model) [19]. Направление прокатки совпадало с направлением обтяжки.

Для описания анизотропии использовались коэффициенты поперечной деформации μ_{ij} , представляющие собой отношение логарифмической деформации по ширине образца e_b к деформации по его длине e_l :

$$\mu_{ij} = -e_b / e_l, \quad (1)$$

где индекс i соответствует направлению поперечной деформации при линейном растяжении образца вдоль направления j [16].

Упрочнение материала в ходе пластической деформации подчинялось закону Свифта [20]:

$$\sigma_{eq} = k(e_0 + e_{eq})^n, \quad (2)$$

где σ_{eq} – интенсивность напряжений;

e_{eq} – интенсивность деформаций;

e_0 – деформация начала пластического течения;

n – степень упрочнения;

k – коэффициент упрочнения, которые можно определить через механические свойства:

$$n = \ln(1 + \delta_p); \quad k = \sigma_{0,2} \left(\frac{1 + \delta_p}{n^n} \right); \quad e_0 = \sqrt[n]{\frac{\sigma_b}{k}}, \quad (3)$$

где σ_b – предел прочности;

$\sigma_{0,2}$ – предел текучести;

δ_p – равномерное относительное удлинение.

Для исследования влияния анизотропии свойств на разнотолщинность применялось центральное композиционное планирование, которое включает полный и дробный факторный эксперименты и некоторое число дополнительных опытов, зависящее от числа факторов. В качестве переменных факторов модели использовались механические свойства материала: предел прочности, предел текучести, равномерное относительное удлинение, коэффициенты поперечной деформации.

Уровни факторов и интервалы варьирования приведены в таблице 1. План эксперимента состоял из 46 сочетаний факторов.

В качестве отклика использовалось значение разнотолщинности, которое оценивалось показателем среднего квадратичного отклонения по формуле

$$S = \sqrt{\frac{\sum_i (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}}, \quad (4)$$

где \bar{x} – средняя толщина всей обшивки;

x_i – толщина i -го элемента;

n – количество конечных элементов модели.

Необходимо отметить, что для анализа не использовались значения толщины участков оболочки, находящихся в зажимах прессы (часть оболочки, лежащая ниже плоскости, рис. 2).

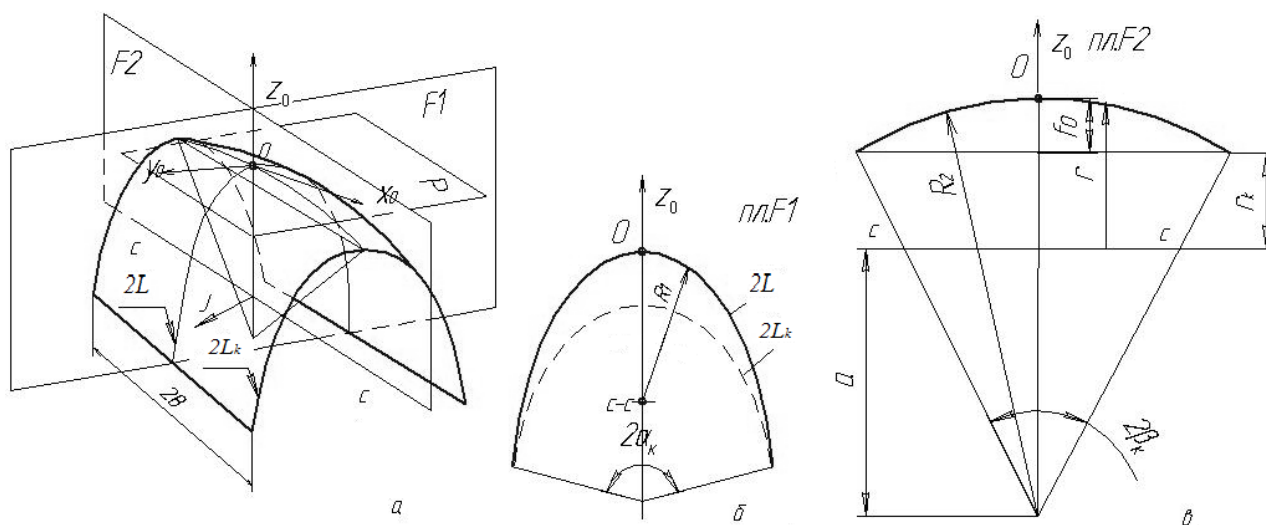
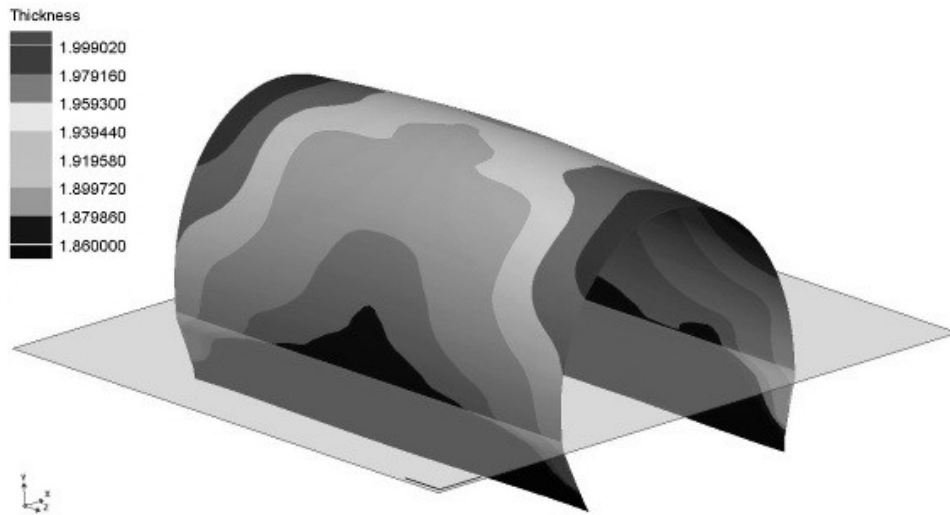


Рис. 1. Оболочка двояковыпуклой формы: а – поверхность оболочки двойной кривизны; б – формообразующий продольный контур; в – максимальный поперечный контур

Таблица 1. Уровни и интервалы варьирования факторов

Факторы	Уровни		
	+1	0	-1
Предел прочности σ_B , МПа	430,0	417,5	405,0
Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа	325,0	302,5	280,0
Равномерное удлинение δ_p , %	18	16	14
Показатель анизотропии μ_{21} (в направлении прокатки)	0,65	0,50	0,35
Показатель анизотропии μ_1 (под углом 45° к направлению прокатки)	0,65	0,50	0,35
Показатель анизотропии μ_{12} (в поперечном направлении)	0,65	0,50	0,35

Рис. 2. Распределение толщин после обтяжки, мм ($\sigma_B=405$ МПа, $\sigma_{0,2}=280$ МПа, $\delta_p=14$ %, $\mu_{ij}=0,35$)

После моделирования всех вариантов обтяжки был проведен статистический анализ результатов и определены коэффициенты математической модели.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Разработанная регрессионная модель (в кодированных значениях) зависимости разнотолщинности обшивки Δ от анизотропии механических свойств имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} \Delta = & 34,75 - 0,34\bar{\sigma}_\sigma + 0,37\bar{\sigma}_{0,2} + 1,45\bar{\delta} - 4,88\bar{\mu}_{21} - \\ & - 0,92\bar{\mu}_1 + 2,23\bar{\mu}_{12} + 0,11\bar{\sigma}_\sigma^2 + 0,10\bar{\sigma}_{0,2}^2 - 0,27\bar{\delta}^2 - \\ & - 1,42\bar{\mu}_{21}^2 + 0,13\bar{\mu}_1^2 - 2,72\bar{\mu}_{12}^2 + 0,46\bar{\sigma}_\sigma\bar{\sigma}_{0,2} - \\ & - 0,30\bar{\sigma}_\sigma\bar{\delta} - 0,14\bar{\sigma}_\sigma\bar{\mu}_{21} - 0,43\bar{\sigma}_\sigma\bar{\mu}_1 - 0,16\bar{\sigma}_\sigma\bar{\mu}_{12} + \\ & + 0,38\bar{\sigma}_{0,2}\bar{\delta} + 0,29\bar{\sigma}_{0,2}\bar{\mu}_{21} + 0,28\bar{\sigma}_{0,2}\bar{\mu}_1 + \\ & + 0,43\bar{\sigma}_{0,2}\bar{\mu}_{12} - 0,54\bar{\delta}\bar{\mu}_{21} - 0,14\bar{\delta}\bar{\mu}_1 - 3,17\bar{\delta}\bar{\mu}_{12} - \\ & - 1,79\bar{\mu}_{21}\bar{\mu}_1 - 3,56\bar{\mu}_{21}\bar{\mu}_{12} - 0,18\bar{\mu}_1\bar{\mu}_{12} \end{aligned} \quad (5)$$

где $\bar{\sigma}_\sigma, \bar{\sigma}_{0,2}, \bar{\delta}, \bar{\mu}_{21}, \bar{\mu}_1, \bar{\mu}_{12}$ – кодированные значения переменных факторов (см. таблицу 1).

По данной модели были построены эпюры распределения разнотолщинности при различных значениях механических свойств (см. рис. 3–4, значения разнотолщинности указаны в мкм).

Анализируя полученные зависимости, можно отметить, что механические свойства влияют на значение разнотолщинности незначительно (рис. 3), в отличие от показателей анизотропии (рис. 4). Уменьшение разнотолщинности будет наблюдаться при обтяжке листов, показатель анизотропии которых вдоль направления обтяжки больше 0,5 (рис. 4). При низком значении этого показателя разнотолщинность увеличивается, даже в случае высоких значений относительного удлинения. Это связано с тем, что чем ниже μ_{ij} , тем материал более интенсивно деформируется по толщине. При этом наименьшая разнотолщинность будет в том случае, если деформирующее усилие приложено вдоль направления максимального показателя анизотропии, а показатель анизотропии в поперечном направлении обтяжки наименьший.

Используя известные методы [21] поиска глобального минимума функции (5), была определена оптимальная анизотропия механических свойств, обеспечивающая минимальную разнотолщинность $\Delta=19,62$ мкм для данной схемы обтяжки обшивок из алюминиево-литиевого сплава 1441: $\sigma_B=430$ МПа, $\sigma_{0,2}=280$ МПа, $\delta_p=14$ %, $\mu_{21}=\mu_1=0,65$, $\mu_{12}=0,35$. На рис. 5 приведены распределения толщины, интенсивности деформации и напряжений для данного случая.

ВЫВОДЫ

1. На предприятиях необходимо обеспечивать входной контроль не только по механическим свойствам,

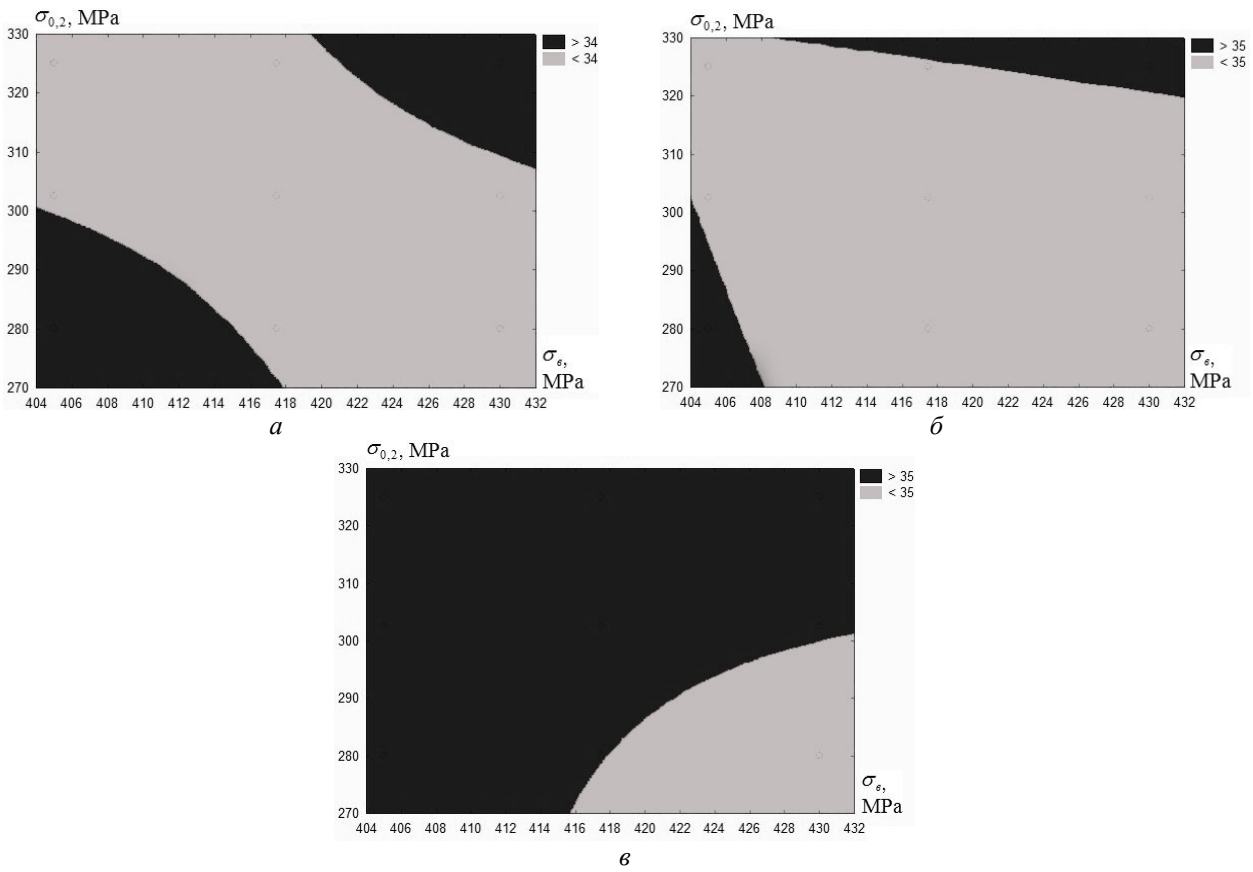


Рис. 3. Эпюры распределения разнотолщинности в зависимости от механических свойств при постоянных показателях анизотропии ($\mu_{ij}=0,5$): а – $\delta_p=14\%$; б – $\delta_p=16\%$; в – $\delta_p=18\%$

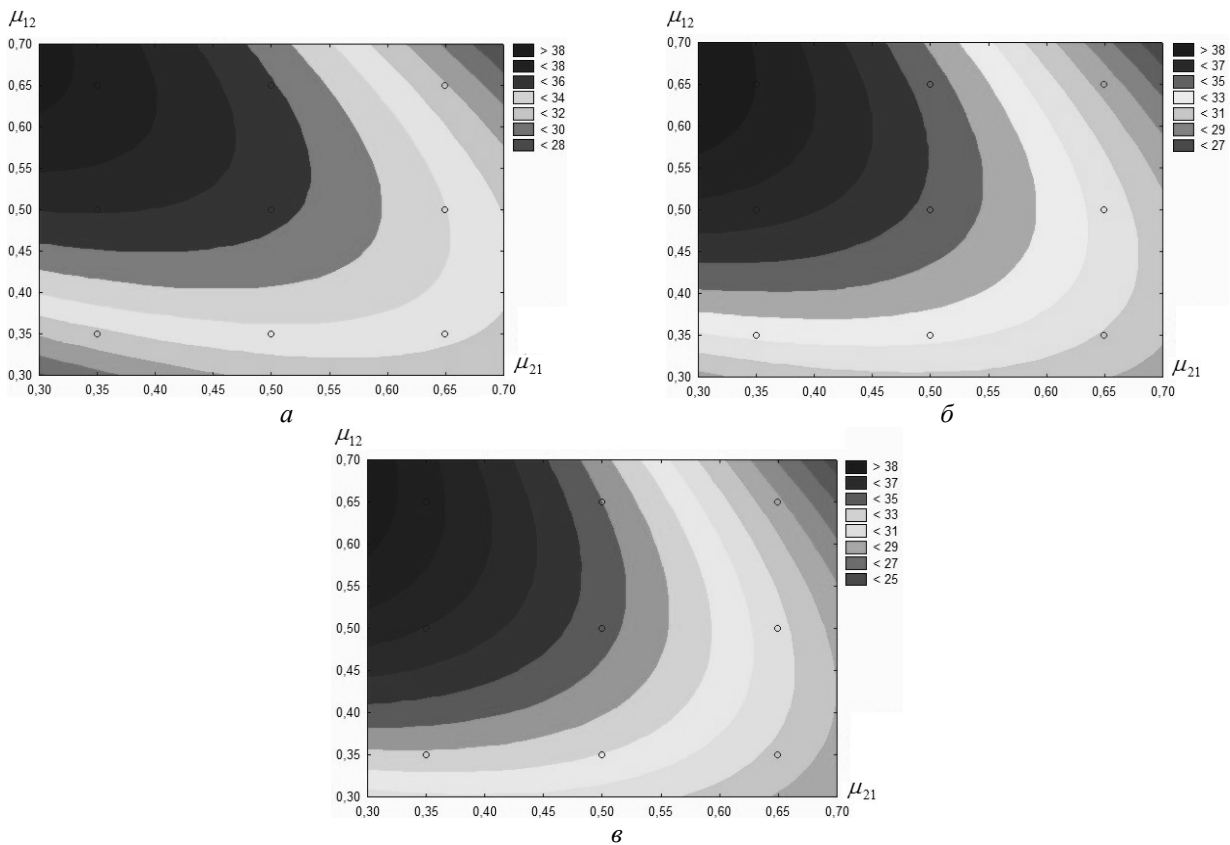


Рис. 4. Эпюры распределения разнотолщинности в зависимости от уровня показателей анизотропии при постоянных механических свойствах ($\sigma_B=417,5$ МПа, $\sigma_{0,2}=302,5$ МПа, $\delta_p=16\%$): а – $\mu_{21}=0,35$; б – $\mu_{12}=0,5$; в – $\mu_{12}=0,65$

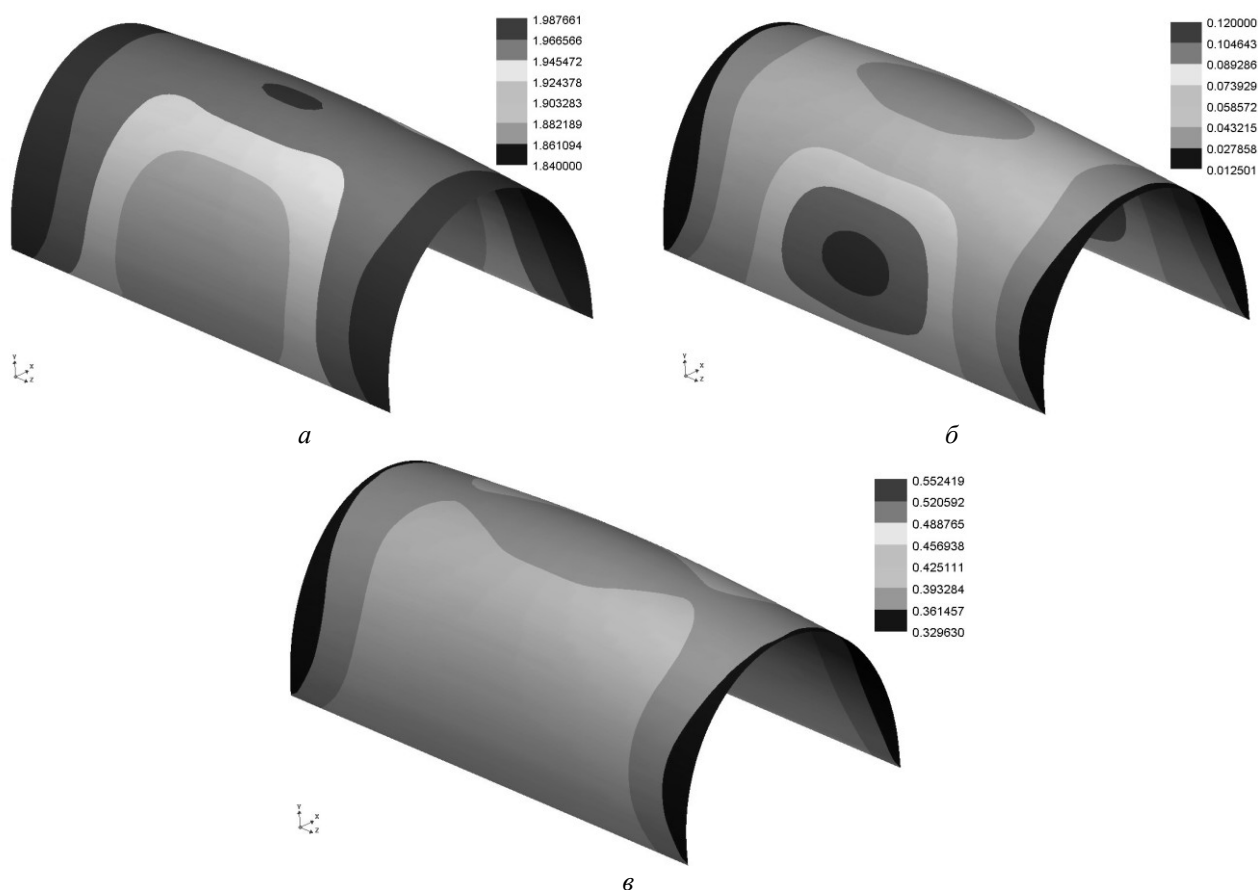


Рис. 5. Распределения толщины (а), интенсивности деформации (б) и интенсивности напряжений (в) при $\sigma_B=430$ МПа, $\sigma_{0,2}=280$ МПа, $\delta_p=14\%$, $\mu_{21}=\mu_1=0,65$, $\mu_{12}=0,35$

но и по коэффициентам поперечной деформации, поскольку именно они оказывают наибольшее влияние на получение необходимой формы изделия.

2. Для минимизации разнотолщинности листовую заготовку необходимо так ориентировать относительно стола прессы, чтобы направление обтяжки совпадало с направлением максимального показателя анизотропии, а поперечное направление обтяжки совпадало с минимальным показателем анизотропии.

3. Минимальная разнотолщинность ($\Delta=19,62$ мкм) для рассматриваемой схемы обтяжки обшивок из алюминий-литиевого сплава 1441 достигается при следующем сочетании свойств: $\sigma_B=430$ МПа, $\sigma_{0,2}=280$ МПа, $\delta_p=14\%$, $\mu_{21}=\mu_1=0,65$, $\mu_{12}=0,35$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Park J.-W., Kim J., Kang B.-S. Study on multiple die stretch forming for curved surface of sheet metal // International Journal of Precision Engineering and Manufacturing. 2014. Vol. 15. № 11. P. 2429–2436.
2. Seo Y.-H., Kang B.-S., Kim J. Study on relationship between design parameters and formability in flexible stretch forming process // International Journal of Precision Engineering and Manufacturing. 2012. Vol. 13. № 10. P. 1797–1804.
3. Wang S., Cai Z., Li M., Lan Y. Numerical simulation on the local stress and local deformation in multi-point stretch forming process // International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2012. Vol. 60. P. 901–911.
4. Liu W., Yang Y.-Y., Li M.-Z. Numerical simulation of multi-point stretch forming and controlling on accuracy of formed workpiece // International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2010. Vol. 50. P. 61–66.
5. Wang S., Cai Z., Li M. Numerical investigation of the influence of punch element in multi-point stretch forming process // International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2012. Vol. 49. P. 475–483.
6. Chen X., Li M.Z., Fu W.Z., Cai Z.Y. Numerical simulation of different clamping modes on stretch forming parts // Advanced Materials Research. 2011. № 189–193. P. 1922–1925.
7. Cai Z.-Y., Yang Z., Che C.-J., Li M.-Z. Minimum deformation path sheet metal stretch-forming based on loading at discrete points // International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2016. № 4. P. 1–10.
8. He J., Xia Z.C., Zhu X., Zeng D., Li S. Sheet metal forming limits under stretch-bending with anisotropic hardening // International Journal of Mechanical Sciences. 2013. № 75. P. 244–256.
9. Крупский Р.Ф., Кривенок А.А., Станкевич А.В., Феоктистов С.И., Бельх С.В. Формообразование профильных заготовок с помощью листового обтяжного прессы // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. 2013. Т. 1. № 2. С. 4–8.

10. Мироненко В.В., Чеславская А.А., Белых С.В. Моделирование обтяжки летательных аппаратов с учетом эффектов, возникающих в зонах зажатия губками // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. 2014. Т. 1. № 2. С. 13–18.
11. Малащенко А.Ю. Конечно-элементное моделирование процесса изготовления гибридных листовых деталей // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2013. № 4. С. 40–43.
12. Крупский Р.Ф., Кривенко А.А., Станкевич А.В., Белых С.В., Мироненко В.В. Моделирование кинематики движения рабочих элементов обтяжного пресса FET // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2014. № 9. С. 40–45.
13. Белых С.В., Кривенко А.А., Мироненко В.В., Мишагин В.А. Определение положения пуансона в рабочем пространстве обтяжного пресса FET в процессе технологической подготовки производства // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2013. № 12. С. 36–41.
14. Demyanenko E.G. A technique of shaping the barrel-type parts // Russian Aeronautics. 2014. Vol. 57. P. 204–211.
15. Grechnikov F.V., Antipov V.V., Erisov Y.A., Grechnikova A.F. A manufacturability improvement of glass-fiber reinforced aluminum laminate by forming an effective crystallographic texture in V95 alloy sheets // Russian Journal of Non-Ferrous Metals. 2015. Vol. 56. P. 39–43.
16. Erisov Y.A., Grechnikov F.V., Surudin S.V. Yield function of the orthotropic material considering the crystallographic texture // Structural Engineering and Mechanics. 2016. Vol. 58. № 4. P. 677–687.
17. Mikheev V.A., Smolnikov S.D., Surudin S.V., Savin D.V. Statistical analysis of stretch shaping process of bi-convex skin // Russian Aeronautics. 2016. Vol. 59. № 1. P. 145–150.
18. Михеев В.А., Гречников Ф.В., Дементьев С.Г., Самохвалов В.П., Савин Д.В., Сурудин С.В. Моделирование кинематической схемы последовательной обтяжки оболочек двояковыпуклой формы на обтяжном прессе FEKD // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. Т. 16. № 6-1. С. 172–179.
19. Hill R. The Mathematical Theory of Plasticity. Oxford: Clarendon Press, 1950. 365 p.
20. Gronostajski Z. The Constitutive Equations for FEM Analysis // Journal of Materials Processing Technology. 2000. Vol. 106. P. 40–44.
21. Самарский А.А., Гулин А.В. Численные методы. М.: Наука, 1989. 432 с.
22. Wang S., Cai Z., Li M., Lan Y. Numerical simulation on the local stress and local deformation in multi-point stretch forming process. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2012, vol. 60, pp. 901–911.
23. Liu W., Yang Y.-Y., Li M.-Z. Numerical simulation of multi-point stretch forming and controlling on accuracy of formed workpiece. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2010, vol. 50, pp. 61–66.
24. Wang S., Cai Z., Li M. Numerical investigation of the influence of punch element in multi-point stretch forming process. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2012, vol. 49, pp. 475–483.
25. Chen X., Li M.Z., Fu W.Z., Cai Z.Y. Numerical simulation of different clamping modes on stretch forming parts. *Advanced Materials Research*, 2011, no. 189–193, pp. 1922–1925.
26. Cai Z.-Y., Yang Z., Che C.-J., Li M.-Z. Minimum deformation path sheet metal stretch-forming based on loading at discrete points. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2016, no. 4, pp. 1–10.
27. He J., Xia Z.C., Zhu X., Zeng D., Li S. Sheet metal forming limits under stretch-bending with anisotropic hardening. *International Journal of Mechanical Sciences*, 2013, no. 75, pp. 244–256.
28. Krupskiy R.F., Krivenok A.A., Stankevich A.V., Feoktistov S.I., Belykh S.V. Shaping profile blanks at a sheet stretch-forming press. *Uchenye zapiski Komsomolskogo-na-Amure gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2013, vol. 1, no. 2, pp. 4–8.
29. Mironenko V.V., Cheslavskaya A.A., Belykh S.V. Simulation of stretch-forming of airborne vehicle' skin with regard to the effects arising in the zones of the workpiece blank clamping by jaws. *Uchenye zapiski Komsomolskogo-na-Amure gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2014, vol. 1, no. 2, pp. 13–18.
30. Malashchenko A.Yu. Finite element simulation of hybrid sheet part production. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2013, no. 4, pp. 40–43.
31. Krupskiy R.F., Krivenko A.A., Stankevich A.V., Belykh S.V., Mironenko V.V. Modeling motion kinematics of FET stretch forming press working elements. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2014, no. 9, pp. 40–45.
32. Belykh S.V., Krivenko A.A., Mironenko V.V., Mishagin V.A. Stretch die position determination in FET-type sheet stretch press workspace during preproduction engineering. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2013, no. 12, pp. 36–41.
33. Demyanenko E.G. A technique of shaping the barrel-type parts. *Russian Aeronautics*, 2014, vol. 57, pp. 204–211.
34. Grechnikov F.V., Antipov V.V., Erisov Y.A., Grechnikova A.F. A manufacturability improvement of glass-fiber reinforced aluminum laminate by forming an effective crystallographic texture in V95 alloy sheets. *Russian Journal of Non-Ferrous Metals*, 2015, vol. 56, pp. 39–43.
35. Erisov Y.A., Grechnikov F.V., Surudin S.V. Yield function of the orthotropic material considering

REFERENCES

1. Park J.-W., Kim J., Kang B.-S. Study on multiple die stretch forming for curved surface of sheet metal. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 2014, vol. 15, no. 11, pp. 2429–2436.
2. Seo Y.-H., Kang B.-S., Kim J. Study on relationship between design parameters and formability in flexible stretch forming process. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 2012, vol. 13, no. 10, pp. 1797–1804.

- the crystallographic texture. *Structural Engineering and Mechanics*, 2016, vol. 58, no. 4, pp. 677–687.
17. Mikheev V.A., Smolnikov S.D., Surudin S.V., Savin D.V. Statistical analysis of stretch shaping process of bi-convex skin. *Russian Aeronautics*, 2016, vol. 59, no. 1, pp. 145–150.
 18. Mikheev V.A., Grechnikov F.V., Dementev S.G., Samokhvalov V.P., Savin D.V., Surudin S.V. Simulation of kinematics scheme serial of shells stretchforming double-convex form on stretchforming press FEKD. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*, 2014, vol. 16, no. 6-1, pp. 172–179.
 19. Hill R. *The Mathematical Theory of Plasticity*. Oxford, Clarendon Press Publ., 1950. 365 p.
 20. Gronostajski Z. The Constitutive Equations for FEM Analysis. *Journal of Materials Processing Technology*, 2000, vol. 106, pp. 40–44.
 21. Samarskiy A.A., Gulin A.V. *Chislennyye metody* [Numerical methods]. Moscow, Nauka Publ., 1989. 432 p.

OPTIMIZATION OF MECHANICAL ANISOTROPY OF COVER SHEETS TO MINIMIZE THE POLYTHICKNESS WHEN STRETCH-WRAP FORMING

© 2017

S.V. Surudin, PhD (Engineering), assistant of Chair of Pressure Metal Treatment
Ya.A. Erisov, PhD (Engineering), assistant professor of Chair of Pressure Metal Treatment
I.N. Petrov, student of Institute of Space Rocket Engineering
Samara University, Samara (Russia)

Keywords: stretch-wrap forming; 1441 aluminum-lithium alloy; mechanical anisotropy; polythickness; transverse deformation ratio (Poisson's ratio).

Abstract: Using the PAM-STAMP 2G software package, the authors carried out the computer simulation of the process of stretch-wrap forming of sheets with the varied mechanical anisotropy. To study the influence of mechanical anisotropy on polythickness, the authors used the central composite design that includes complete and fractional factorial experiments and a number of replicate experiments and depends on the number of factors. As the variable factors of the model, the following mechanical properties of the material were used: yield strength, flow limit, uniform elongation, and the Poisson's rate.

After simulation of all variants of stretch-wrap forming, the regression analysis of the results was implemented and the mathematical model of polythickness dependence on the mechanical anisotropy was formulated. It is determined that to minimize the polythickness, it is necessary to position sheet workpiece in relation to the bed of press in such a way that the direction of stretch-wrap forming would be the same as the direction of maximum anisotropy index, and the transverse direction of the stretch-wrap forming would be the same as the minimum anisotropy index.

Using the known methods of searching the function global minimum, the authors determined the optimal mechanical anisotropy, which provides the minimum polythickness (19.62 μm) for the considering scheme of stretch-wrap forming of sheets made of 1441 aluminium-lithium alloy: yield strength – 430 MPa, flow limit – 280 MPa, uniform elongation – 14 %, the ratios of transverse deformation at the angle of 0° and 45° to the rolling direction – 0.65, at the angle of 45° – 0.35. The rolling direction is the same as the direction of stretch forming.

It is recommended to the enterprises to provide the input control not only according to the mechanical properties but according to the transverse deformation ratios as well because they influence greatly the obtaining of the required shape of the product.