

Скрябин С.А.¹, Швец Л.В.², Чайка Д.С.³¹ НПП „Ухналь”. Украина, Киев.² Винницкий Государственный аграрный университет. Украина, Киев.³ ГП Киевский авиационный завод "АВИАНТ". Украина, Киев

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛА В ПЕРЕХОДНОЙ И УСТАНОВИВШЕЙСЯ ЗОНАХ ПРИ ВАЛЬЦОВКЕ ЗАГОТОВОК В ОЧАГЕ ДЕФОРМАЦИИ, С УЧЕТОМ РАЗВИТИЯ ДЕФОРМАЦИИ ВО ВРЕМЕНИ

Анотація

У статті описані теоретичні і експериментальні дослідження течії металу в перехідній і сталій зонах при вальцюванні заготовок в осередку деформації, з урахуванням розвитку деформації в часі, при їх об'ємній деформації. Максимальна розбіжність теоретичних і експериментальних досліджень при перевірці запропонованого методу складає до 10% для третього наближення, що підтверджує можливість застосування цього методу для дослідження перебігу металу в осередку деформації при вальцюванні заготовок в калібрах довільної форми.

Abstract

In the article are described theoretical and experimental researches of flow of metal in the transitional and set areas at rolling billets in the point of deformation, taking into account development of deformation in time, at their by volume deformation. The maximum deviation of theoretical and experimental researches while checking the offered method makes up to 10% for the third approaching, what confirms the possibility of usage of this method for research of flow of metal in the hearth of deformation at rolling billets in the calibers of arbitrary form.

Специфика авиационного производства и нормативные требования к его продукции предусматривают изготовление широкой номенклатуры деталей летательных аппаратов высокого качества с заданными механическими характеристиками и облегченной конструкции. В связи с

возрастающей потребностью в применении дорогостоящих и трудно деформируемых специальных сталей, титановых, магниевых и алюминиевых сплавов, изучение течения металла и, соответственно, неравномерности деформации для изготовления качественных профилей и заготовок под штамповку, особенно актуально.

Данная работа является продолжением исследований описанных в опубликованных источниках [1, 2]. За основу при теоретическом исследовании процесса течения металла при объемном деформировании заготовок в калибрах, был взят метод описанный в этих работах, т.е. задача по исследованию решается поэтапно: упругая задача как первое приближение к упруго-пластической, упруго-пластическая задача для малых пластических деформаций. Характер перемещения металла в калибрах описан с помощью метода конечных разностей и переменного параметра.

Для решения объемной задачи по определению процесса течения металла в очаге деформации были приняты следующие условия:

- в пластической области очага деформации изменение объема не происходит $\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z = 0$.
- тензоры напряжений и деформаций для каждой точки деформированного слоя dz , рис. 1, имеют вид:

$$T_{\sigma} = \begin{pmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & 0 \\ \tau_{xy} & \sigma_y & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix};$$

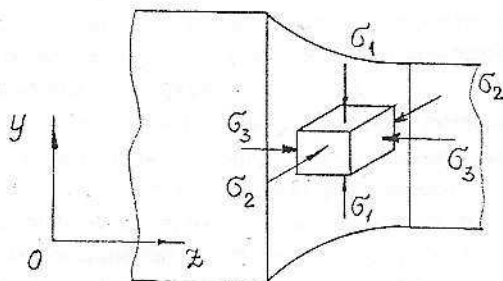
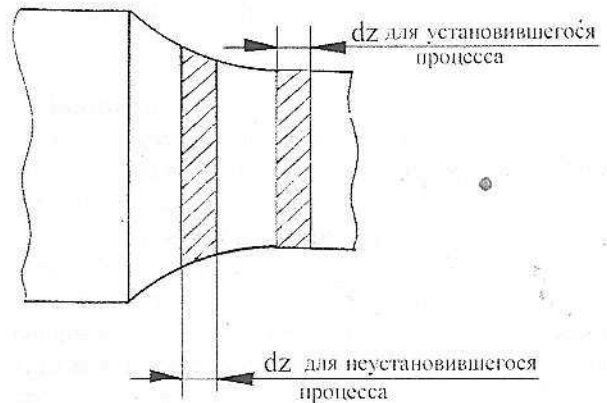


Рис. 1. Схема напряженного состояния в переходной зоне вальцуемой заготовки



$$T_\epsilon = \begin{pmatrix} \epsilon_x & \frac{1}{2}\gamma_{xy} & 0 \\ \frac{1}{2}\gamma_{yx} & \epsilon_y & 0 \\ 0 & 0 & \epsilon_z \end{pmatrix} \quad (1)$$

- напряженное состояние в каждой точке деформированной среды при пластических деформациях будет зависеть не только от девиаторной части тензора напряжений, но и от нормального октаэдрического напряжения

$$D_\sigma = \begin{pmatrix} \sigma_x - \sigma_{cp} & \tau_{xy} & 0 \\ \tau_{yx} & \sigma_y - \sigma_{cp} & 0 \\ 0 & 0 & -\sigma_{cp} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \sigma_{cp} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad (2)$$

где $\begin{pmatrix} \sigma_x - \sigma_{cp} & \tau_{xy} & 0 \\ \tau_{yx} & \sigma_y - \sigma_{cp} & 0 \\ 0 & 0 & -\sigma_{cp} \end{pmatrix}$ - девиаторная часть тензора напряжений;

$$\begin{pmatrix} \sigma_{cp} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} - \text{шаровой тензор напряжений;}$$

σ_{cp} - нормальное октаэдрическое напряжение в точке.

- в каждом деформируемом слое dz очага деформации напряженное состояние характеризуется объемной схемой с тремя сжимающими напряжениями $|\sigma_1| > |\sigma_2| > |\sigma_3|$;

- в пластической области очага деформации упругая составляющая пластической деформации не учитывается;

- в каждом деформируемом слое dz очага деформации пластическая деформация начинается только при достижении напряжения величины предела текучести;

- напряженно-деформированное состояние деформируемой среды подчиняется закону жестко - пластического деформирования;

- процесс нагружения в каждой точке очага деформации характеризуется отсутствием поворота главных осей тензоров напряжений и деформаций;

- процесс нагружения в каждой точке очага деформации пропорционален величине возрастания тензора напряжений некоторому параметру, который в пластической области деформации равен удвоенной величине модуля сдвига второго рода, т.е. $2G^*$.

Для установившегося процесса вальцовки, при объемном деформировании заготовки, тензор деформации T_ϵ будет иметь вид (1), т.к. в направлении координаты OZ имеются деформации удлинения ϵ_z , а следовательно и смещения w .

При таком соотношении тензора деформации величина смещения w для слоя dz , рис. 1, будет определяться формулой

$$W = \epsilon_z \cdot z. \quad (3)$$

Используя компоненты (4) из обобщенного закона Гука,

$$\epsilon_x = \frac{1}{E}(\sigma_x - \mu\sigma_y); \quad \epsilon_y = \frac{1}{E}(\sigma_y - \mu\sigma_x);$$

$$\epsilon_z = \frac{\mu}{E}(\sigma_x + \sigma_y); \quad (4)$$

$$\gamma_{xy} = \frac{2(1+\mu)}{E}\tau_{xy}, \text{ где } E - \text{модуль Юнга;}$$

получим

$$w = -\frac{\mu}{E}(\sigma_x + \sigma_y)z \quad (5)$$

или в перемещениях:

$$w = -\frac{\lambda}{2G + \lambda}(\epsilon_x + \epsilon_y)z \quad (6)$$

Используя геометрические соотношения (7),

$$\epsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x}; \quad \epsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y}; \quad \epsilon_z = \frac{\partial w}{\partial z};$$

$$\gamma_{yz} = \frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z}; \quad \gamma_{xz} = \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x}; \quad \gamma_{yx} = \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y}. \quad (7)$$

получаем W - перемещения в слое, равном шагу сетки в направлении оси OZ

$$w = -\frac{\lambda}{2G + \lambda} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) z, \quad (8)$$

где λ - постоянная Ляме; G - модуль сдвига; ϵ_x, ϵ_y - перемещения в поперечном сечении заготовки; w - перемещения в слое, равном шагу сетки в направлении оси OZ .

Далее, заменяя в формуле (8) частные производные их конечными разностями, окончательно получаем формулу для получения перемещений вдоль оси Z .

$$w = -\frac{\lambda}{2G + \lambda} \left(\frac{u_{i+1,j} - u_{i,j}}{h_{a1}^i} + \frac{v_{i+1,j} - v_{i,j}}{h_{a2}^i} \right) z. \quad (9)$$

В переходной зоне деформируемой заготовки (рис. 1) в слое dz , равном шагу пространственной сетки в направлении оси Z , смещение координаты OZ будет определяться по формуле

$$w = -\frac{\nu}{E}(\sigma_x + \sigma_y), \quad (10)$$

где ν - коэффициент Пуассона;

$$\sigma_x + \sigma_y = \frac{E}{1-\nu}(\epsilon_x + \epsilon_y). \quad (11)$$

После подстановки правой части равенства (11) в формулу (10) получим

$$w = -\frac{\nu}{1-\nu}(\epsilon_x + \epsilon_y), \quad (12)$$

а в частных производных будем иметь

$$w = -\frac{\nu}{1-\nu} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) z \quad (13)$$

Заменяя в формуле (13) частные производные их конечными разностями, получаем формулу для определения перемещений вдоль оси OZ для переходного участка

$$w = -\frac{\nu}{1-\nu} \left(\frac{u_{i+1,j} - u_{i,j}}{h_{\alpha 1}^i} + \frac{v_{i+1,j} - v_{i,j}}{h_{\alpha 2}^i} \right) z. \quad (14)$$

Для определения течения металла при неустановившемся процессе вальцовки (переходной участок) используется описанная в работе [2] методика расчета с предварительной разбивкой переходного участка на ряд элементарных сечений dz (рис. 1), в каждом из которых процесс рассматривался как установившийся.

Чтобы определить характер течения металла в переходной зоне вальцуемой заготовки, образец рассекался плоскостью, параллельной XOZ (рис. 2) на сечения (2;2), (4;4), (6;6), (8;8), (10;10), (11;11), (рис. 3–5); плоскостью параллельной YOZ (рис. 6) на сечение (1;1), (2;2), (4;4), (6;6), (8;8), (10;10), рис. 7–9; плоскостью параллельной XOY (рис. 10) на сечение (4;4), (5;5), рис. 11.

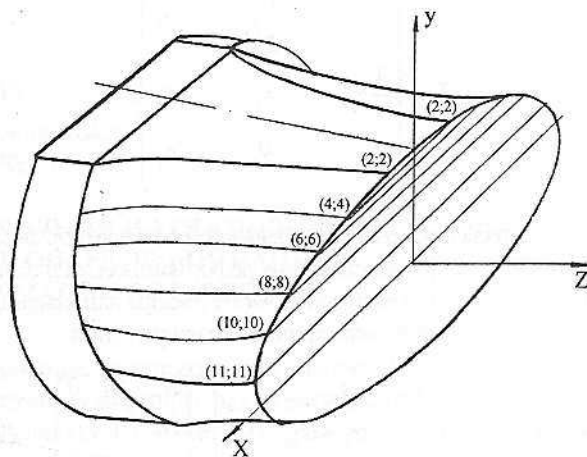


Рис. 2. Общий вид рассматриваемых сечений

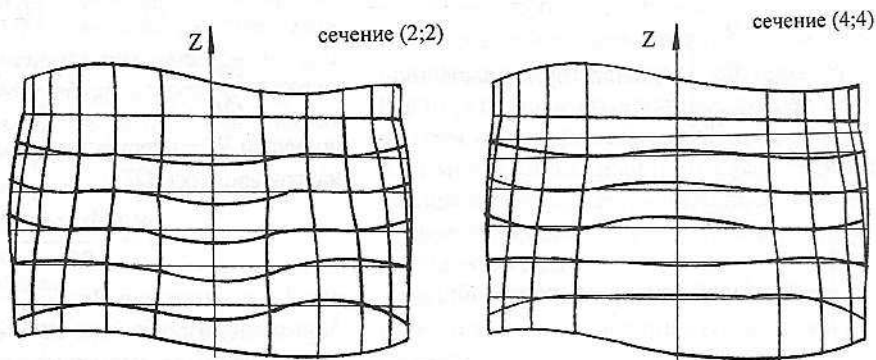


Рис. 3. Перемещение металла вдоль оси OX в сечениях (2; 2), (4; 4) параллельных плоскости XOZ

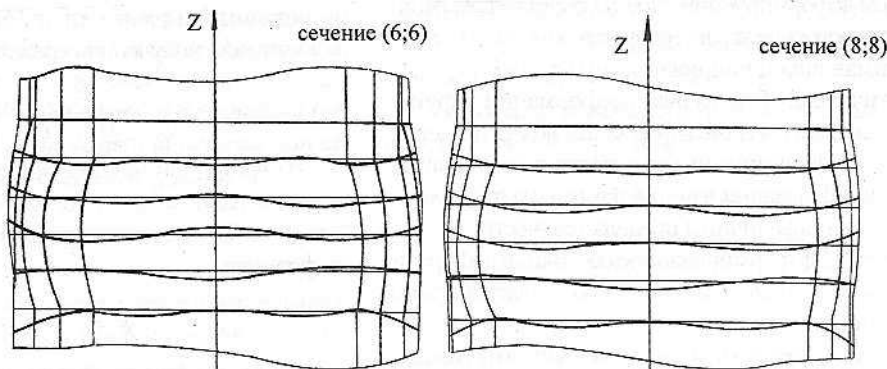


Рис. 4. Перемещение металла вдоль оси OZ в сечениях (6; 6), (8; 8) параллельных плоскости XOZ

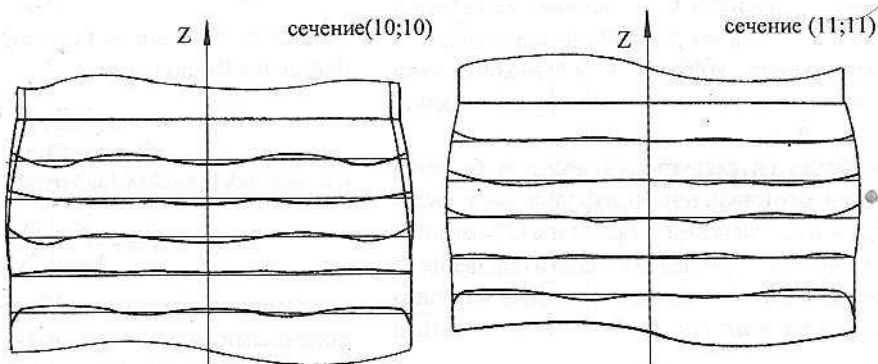


Рис. 5. Перемещение металла в сечениях (10; 10), (11; 11) вдоль оси OZ параллельных плоскости XOZ

На рис. 12, 13 представлена картина течения металла в исследуемой области в аналитическом (а) и экспериментальном (б) видах.

Из анализа и сравнения данных представленных на рис. 12, 13 видно, что решение задачи в трехмерной постановке в области малых упруго-пластических деформаций, с использованием методов конечных разностей и переменного параметра, дает действительную картину перемещения металла при вальцовке заготовок круглого сечения в овальных калибрах.

На рис. 14 представлен общий вид течения металла при объемном деформировании заготовок в овальном калибре. Перемещение координатных сеток сопоставимо с изменениями пластических волн деформирования.

Перемещение координатных сеток (пластических волн) представленное на рис. 10, 12 а, 13 а, параллельно с основными исследованиями течения металла при объемном деформировании заготовок в овальном калибре, определено с учетом развития деформации во времени (линии: (1;1) – 0,0145 с; (2;2) – 0,0290 с; (3;3) – 0,0435 с; (4;4) – 0,0580 с; (5;5) – 0,0725 с).

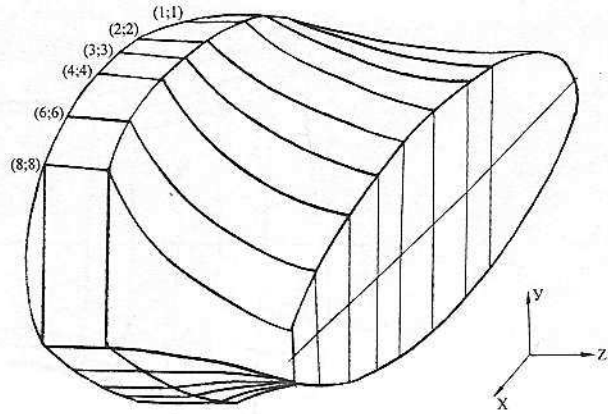


Рис. 6. Общий вид бокового среза исследуемого образца

На приведенных рисунках показан характер течения металла при вальцовке заготовок в очаге деформации в трехмерной постановке (объемная задача), выполненной по методу описанному в работе [2] и получившему

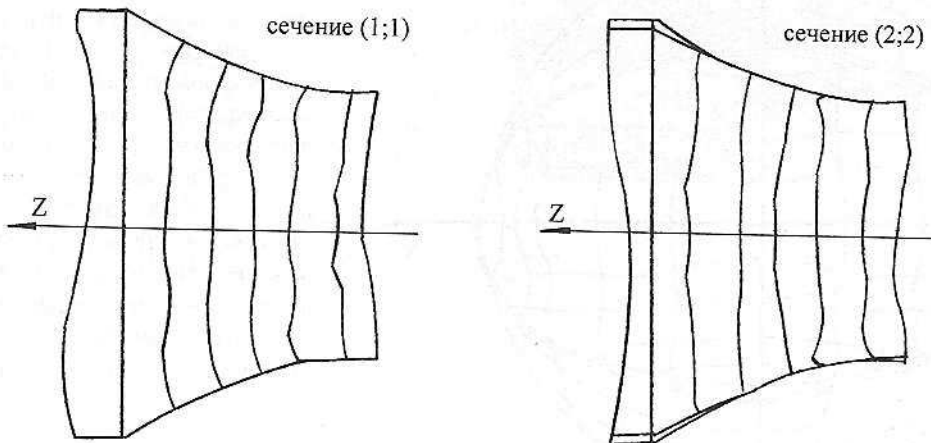


Рис. 7. Перемещение металла в сечениях (1; 1), (2; 2) вдоль оси OZ параллельной плоскости YOZ

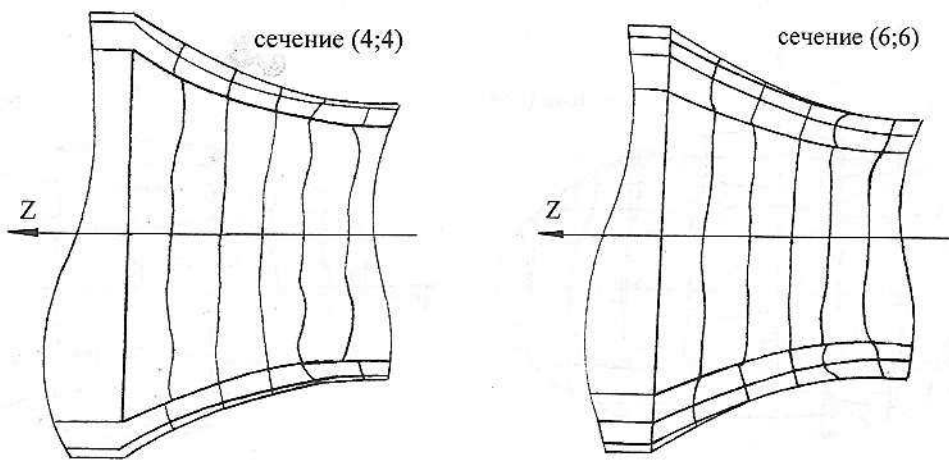


Рис. 8. Перемещение металла в сечениях (4; 4) и (6; 6) вдоль оси OZ параллельной плоскости YOZ

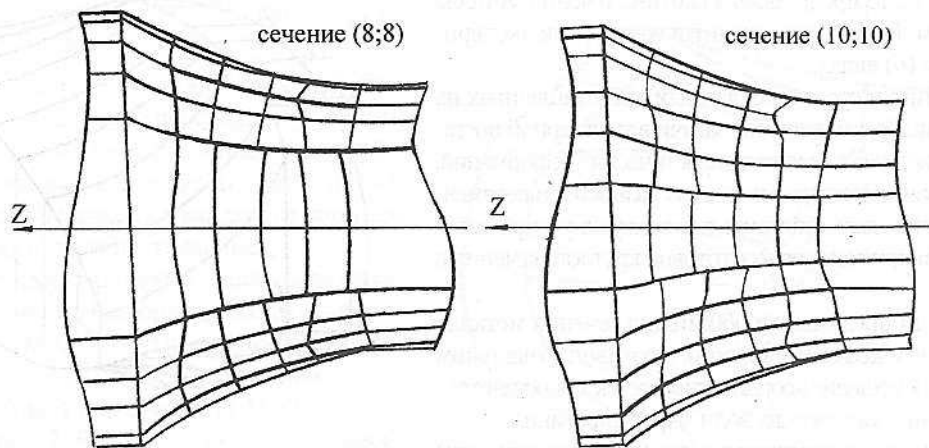


Рис. 9. Перемещение металла вдоль оси OZ в сечениях (8; 8) и (10; 10) параллельной плоскости YOZ

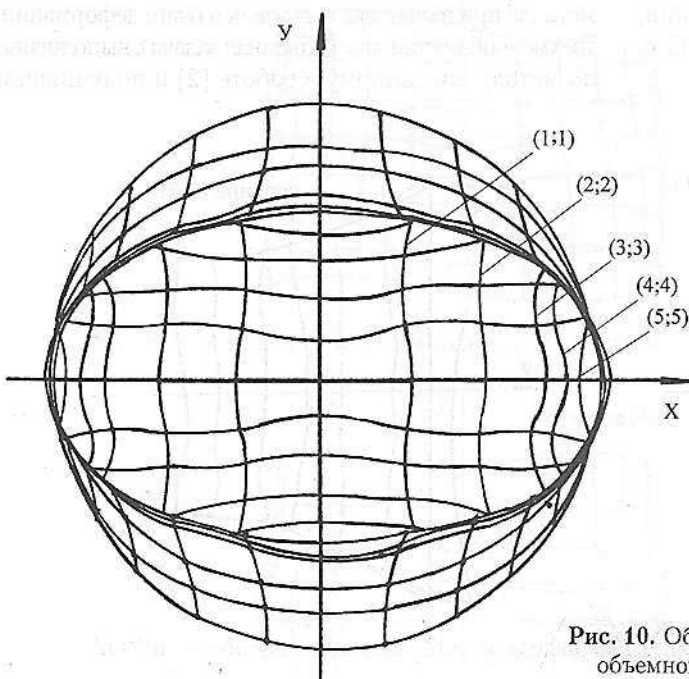


Рис. 10. Общий вид течения металла на поверхности торца при объемном деформировании заготовок в овальном калибре (первое приближение)

дальнейшее развитие, заключающееся в учете развития деформации во времени.

Экспериментальная проверка достоверности результатов теоретических и экспериментальных исследований течения металла при вальцовке (прокатке) заготовок при их объемном деформировании в очаге деформации подтвердили, что разработанный метод позволяет раскрыть картину перемещения металла как для установившегося (деформация при постоянном обжатии) так и неустановившегося (деформация с нарастающим или убывающим обжатием) процессов горячего деформирования, определить неравномерность деформации в зависимости от соотношения геометрических форм калибра и деформируемой

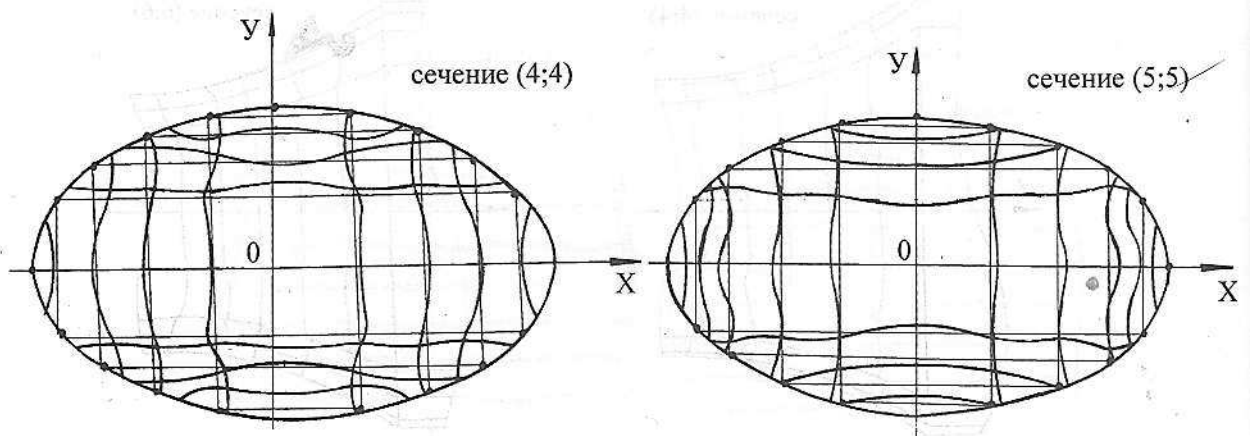


Рис. 11. Перемещение металла в сечениях /4; 4/ и /5; 5/ параллельных плоскости YOZ

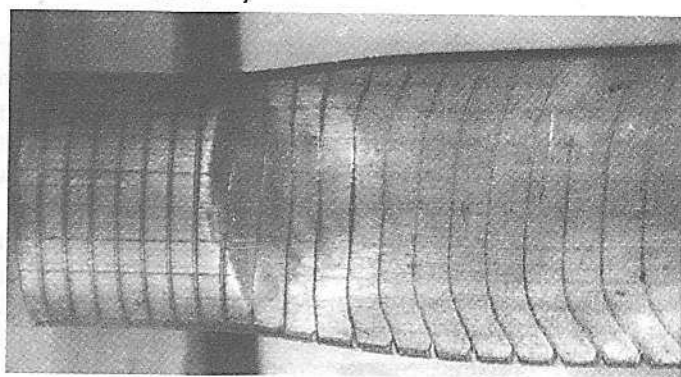
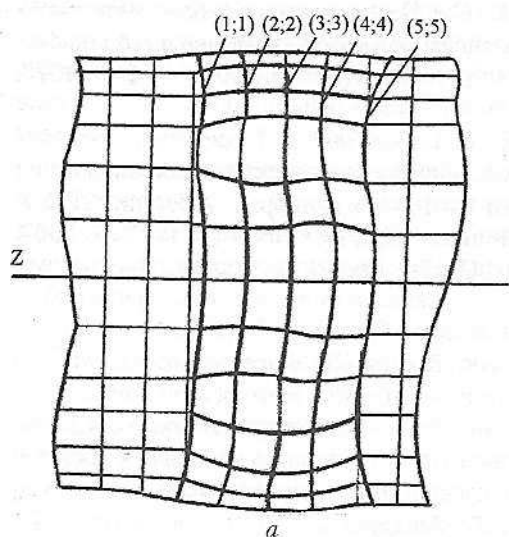


Рис. 12. Изменение координатной сетки на поверхности исследуемого образца (вид сверху):
 а – аналитическое исследование;
 б – экспериментальное

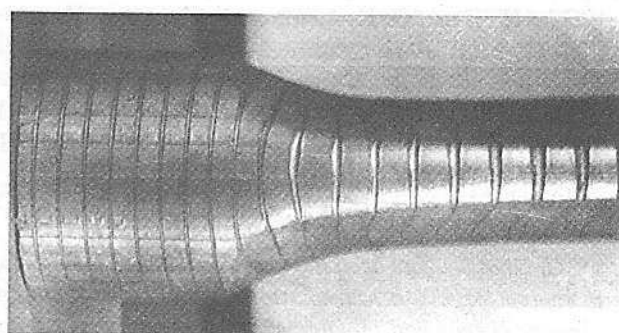
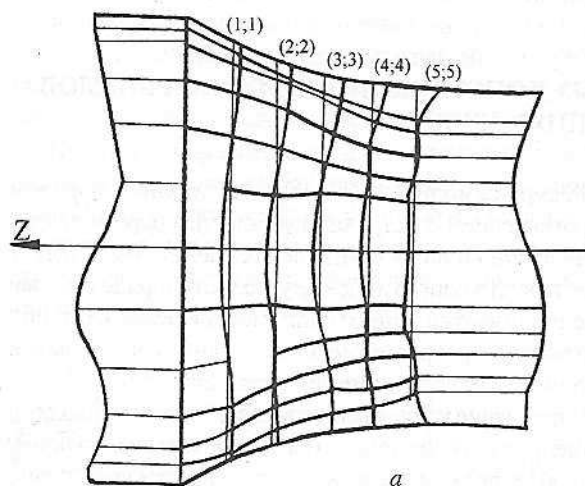


Рис. 13. Изменение координатной сетки на поверхности исследуемого образца (вид сбоку):
 а – аналитическое исследование;
 б – экспериментальное

заготовки, найти область возможной концентрации напряжений.

Максимальное расхождение теоретических и экспериментальных исследований при проверке предложенного метода составляет до 10% для третьего приближения, что подтверждает возможность применения этого метода для исследования течения металла в очаге деформации при вальцовке заготовок в калибрах произвольной формы.

Выводы

1. В статье описаны теоретические и экспериментальные исследования течения металла в переходной и установившейся зонах при вальцовке заготовок в очаге деформации, с учетом развития деформации во времени, при их объемном деформировании. Максимальное расхождение теоретических и экспериментальных исследований при проверке предложенного метода составляет до 10% для третьего приближения, что подтверждает возможность применения этого метода для исследования течения металла в очаге деформации при вальцовке заготовок в калибрах произвольной формы.

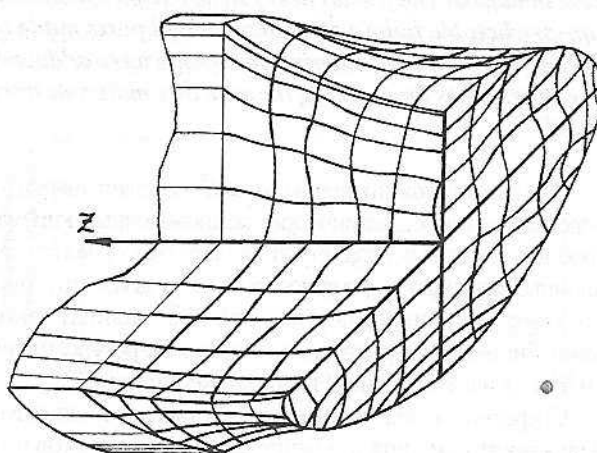


Рис. 14. Общий вид течения металла (изменение пластических волн) при объемном деформировании заготовок в овальном калибре (первое приближение), с учетом развития деформации во времени.

2. Экспериментальная проверка достоверности результатов теоретических и экспериментальных исследований течения металла при вальцовке (прокатке) заготовок при их объемном деформировании в очаге деформации подтвердили, что разработанный метод позволяет раскрыть картину перемещения металла как для установившегося (деформация при постоянном обжатии) так и неустановившегося (деформация с нарастающим или убывающим обжатием) процессов горячего деформирования, определить неравномерность деформации в зависимости от соотношения геометрических форм калибра и деформируемой заготовки, найти область возможной концентрации напряжений.

УДК 629.73.002.02

Трофимов В. А.¹, Лавренко И. Г.¹, Василевский Е. Т.¹, Антонюк С. Л.¹, Моляр А. Г.²

¹ГП "АНТК им. О. К. Антонова". Украина, Киев.

²ИМФ им. В. Г. Курдюмова. Украина, Киев

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКОПРОЧНЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В САМОЛЕТНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ ИЗДЕЛИЙ АН

Анотація

Проаналізовані особливості і результати використання високоміцких матеріалів у елементах конструкцій літаків сімейства "Антонов". Приведені дослідження деяких причин непрогнозованого руйнування силових деталей з високоміцких матеріалів в експлуатації. Сформульовані підходи щодо вибору конструкційних матеріалів.

Abstract

The features and results of application of high-strength materials for structure elements of "Antonov" aircrafts were analyzed. The researches of some reason concerning non-predictable failure of critical loaded parts made of high-strength materials during service life were adduced. The approaches for choosing the structure materials were stated.

Важным этапом процесса создания самолета, наряду с определением аэродинамических, компоновочных, кинематических и силовых параметров, является выбор конструкционных материалов для силовых элементов конструкций. От этого решения в значительной мере зависят такие важнейшие характеристики как жесткость, ресурс, трудоемкость в изготовлении и на этапе эксплуатации.

Современные тенденции обеспечить эксплуатационную надежность самолета в течение 25–50 тыс. полетов или 45–100 тыс. часов на протяжении 30–40 лет, повышение интенсивности эксплуатации, стремление снизить затраты при обслуживании, возрастающая стоимость создания новых самолетов обуславливают усиление требований к их долговечности и ресурсу.

Литература

1. Скрябин С. А. Исследование, разработка и внедрение процесса вальцовки заготовок из алюминиевых сплавов. – Дисс. канд. техн. наук: 05.16.05. – М. – 1978. – 216 с.

2. Скрябин С. А., Скрябин К. С. Теоретическое решение объемной задачи по исследованию течения металла при деформации заготовок в калибрах // Вестник НТУУ "Киевский политехнический институт". – 2003. – №44. – С. 56–60.

Ресурс самолета определяется главным образом сопротивлением конструкции усталости, коррозионному воздействию и износу отдельных элементов. Следует отметить, что сопротивление усталости в ряде случаев обуславливается сопротивляемостью коррозии, ибо усталостное разрушение может начаться от очагов коррозионного поражения или фреттинга.

Стремление к повышению весовой отдачи приводит к применению в конструкции самолета материалов повышенной прочности (таких как титановые сплавы, стали и основного материала самолетостроения – высокопрочных алюминиевых сплавов). В свою очередь это может привести к снижению относительных и даже абсолютных усталостных характеристик конструкции, так как высокопрочные материалы более чувствительны к концентраторам напряжений и различного рода производственным и эксплуатационным воздействиям.

Известно, что с ростом уровня прочности предел выносливости материалов растет в меньшей степени. При наличии геометрических концентраторов напряжений, покрытий и измененного поверхностного слоя предел выносливости с ростом прочности материала снижается по своему абсолютному значению. Особенно сильно на предел выносливости влияют коррозионные повреждения.

При выборе материала для той или иной конструкции в первую очередь необходимо исходить из обеспечения механической прочности и жесткости при наименьшей массе, т.е. обеспечения максимальной весовой эффективности материала. Поэтому, для получения хорошей весовой эффективности в сочетании с длительным ресурсом работы и надежностью в эксплуатации конструкционные материалы должны обладать комплексом необходимых характеристик: высокой прочностью, хорошей коррозионной