

## ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕКСТУРЫ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ПРОЦЕССОВ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ АНИЗОТРОПНЫХ ЗАГОТОВОК

© 2012 Ф.В. Гречников, Я.А. Ерисов

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва  
(национальный исследовательский университет)

Поступила в редакцию 18.06.2012

В данной статье на основе подхода, предложенного А.Д. Томленовым, рассмотрено влияние ориентационных факторов текстуры и констант кристаллической решетки на потерю устойчивости листовых анизотропных заготовок в формоизменяющих операциях штамповки.

Ключевые слова: анизотропия, параметры текстуры, модуль упрочнения, потеря устойчивости, сосредоточенная деформация, плоское напряженное состояние.

В процессах формообразования листовых материалов могут возникать неустойчивые состояния, которые приводят к появлению областей локализации (шеек) и образованию сосредоточенных деформаций, недопустимых в готовых изделиях. Поэтому одним из наиболее важных вопросов теории и практики листовой штамповки является вопрос об определении критических и допустимых деформаций, при которых формоизменение происходит без трещин. При этом критерием оценки предельного формоизменения является ресурс пластичности листового материала, который для заданных условий штамповки зависит от многих причин: структуры и химического состава сплава, анизотропии свойств, температуры и скорости деформации, характера напряженного состояния и т.д. [1-2].

Несмотря на то, что проблем деформируемости металлов без разрушения посвящены многочисленные работы С.И. Губкина, Л.Д. Соколова, Г.А. Смирнова-Аляева, В.Л. Колмогорова, А.Ю. Аверкиева и др. [3], мало внимания уделено исследованию предельных возможностей деформирования анизотропных заготовок. Выполненный в работах А.Д. Томленова и С.С. Яковлева [4-5] анализ влияния анизотропии на устойчивость процесса штамповки основан на феноменологическом подходе, а значит, не учитывает в явном виде кристаллографическую природу анизотропии свойств.

Таким образом, для непосредственного анализа деформационных возможностей металла в конкретной операции и наиболее эффективно-

го использования направленности свойств заготовок необходимо на основе кристаллографического подхода рассмотреть влияние параметров текстуры и констант кристаллической решетки на устойчивость процессов формообразования.

Можно отметить три типа потери устойчивости в процессах формообразования высокотекстурованных материалов: образование полос скольжения на поверхности вытягиваемых заготовок, появление складок и шейкообразование [4]. Наибольший интерес для анализа процессов формообразования деталей сложной формы представляет потеря устойчивости третьего типа, которая возникает в момент, соответствующий достижению наибольшего усилия на диаграмме растяжения.

Причина потери устойчивости в этом случае заключается в уменьшении сопротивления деформирования элемента заготовки, вызываемом уменьшением его площади поперечного сечения и модуля упрочнения. Заготовка теряет устойчивость после достижения критических деформаций, т.е. в некоторой области очага деформаций появляется значительная сосредоточенная деформация и происходит разрыв.

Рассмотрим процесс двухосного растяжения прямоугольного листа из ортотропного материала толщиной  $w$  в условиях плоского напряженного состояния ( $\sigma_3 = 0$ ). Обозначим через  $P$  усилие, приложенное к элементу листового материала и направленное по оси  $u$ , а через  $Q$  – усилие, действующее вдоль оси  $v$ . Криволинейные координатные линии  $u$  и  $v$  выбраны так, чтобы они совпадали с траекториями главных нормальных напряжений  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$ , а также с главными осями анизотропии (рис. 1).

Тогда нагрузки на лист  $P$  и  $Q$  равны:

$$P = \sigma_1 \Delta v w \quad \text{и} \quad Q = \sigma_2 \Delta u w. \quad (1)$$

В процессе штамповки эти усилия будут возрастать в результате упрочнения металла и

*Гречников Федор Васильевич, член-корреспондент РАН, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой обработки металлов давлением.*

*E-mail: gretch@ssau.ru*

*Ерисов Ярослав Александрович, инженер кафедры обработки металлов давлением*

*E-mail: yaroslav.erisov@mail.ru*

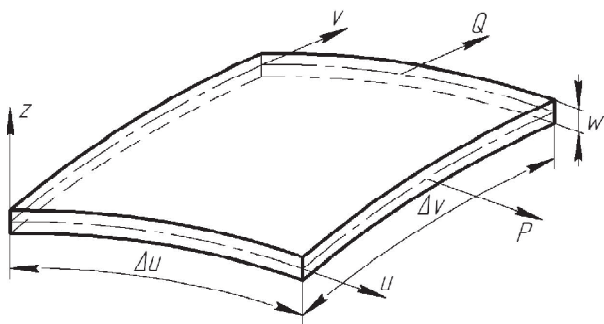


Рис. 1. Элемент листовой заготовки, находящийся в двухосном напряженном состоянии

уменьшаться вследствие уменьшения размеров элемента. Равновесие будет устойчивым, если изменение деформирующей силы вызывает малое изменение деформации. Потеря устойчивости определяется условием максимума деформирующих усилий. Когда одно из усилий, приложенных к деформируемому элементу, достигает максимума, то дальнейшее возрастание деформаций происходит без увеличения усилия и может оказаться большим. Условие устойчивости имеет вид:

$$\begin{cases} dP = d\sigma_1 \Delta v w + \sigma_1 d(\Delta v) w + \sigma_1 \Delta v dw > 0, \\ dQ = d\sigma_2 \Delta u w + \sigma_2 d(\Delta u) w + \sigma_2 \Delta u dw > 0 \end{cases} \quad (2)$$

Разделив каждое уравнение системы (2) на  $\sigma_1 w$  и  $\sigma_2 w$  соответственно, имеем:

$$\begin{cases} \frac{d\sigma_1}{\sigma_1} + \frac{d(\Delta v)}{\Delta v} + \frac{dw}{w} > 0, \\ \frac{d\sigma_2}{\sigma_2} + \frac{d(\Delta u)}{\Delta u} + \frac{dw}{w} > 0 \end{cases} \quad (3)$$

или

$$\begin{cases} \frac{d\sigma_1}{\sigma_1} + d\varepsilon_2 + d\varepsilon_3 > 0, \\ \frac{d\sigma_2}{\sigma_2} + d\varepsilon_1 + d\varepsilon_3 > 0 \end{cases} \quad (4)$$

где  $d\varepsilon_1, d\varepsilon_2$  и  $d\varepsilon_3$  – приращения главных деформаций.

Используя условие несжимаемости материала ( $d\varepsilon_1 + d\varepsilon_2 + d\varepsilon_3 = 0$ ), условие положительности добавочных нагрузок можно записать в виде:

$$\begin{cases} \frac{d\sigma_1}{\sigma_1} > d\varepsilon_1, \\ \frac{d\sigma_2}{\sigma_2} > d\varepsilon_2 \end{cases} \quad (5)$$

Для того чтобы учесть влияние ориентационных факторов текстуры  $\Delta_i$  и констант кристаллической решетки  $S'_{ijkl}$  на потерю устойчивости в случае сосредоточенной (местной) деформации воспользуемся критерием пластичности, предложенными в работе [6]. Тогда для плоского напряженного состояния ( $\sigma_3 = 0$ ) получим следующие выражения для интенсивности напряжений:

$$\sigma_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \left\{ (\eta_{12} + \eta_{31}) \sigma_1^2 - 2\eta_{12} \sigma_1 \sigma_2 + (\eta_{12} + \eta_{23}) \sigma_2^2 \right\}^{1/2}; \quad (6)$$

приращения интенсивности деформаций (с учетом условия несжимаемости):

$$d\varepsilon_i = \sqrt{2 / \left( \frac{1}{\eta_{12}} + \frac{1}{\eta_{23}} + \frac{1}{\eta_{31}} \right)} \left[ \frac{(d\varepsilon_1)^2}{\eta_{31}} \left( \frac{1}{\eta_{12}} + \frac{1}{\eta_{23}} \right) + 2 \frac{d\varepsilon_1 d\varepsilon_2}{\eta_{23} \eta_{31}} + \frac{(d\varepsilon_2)^2}{\eta_{23}} \left( \frac{1}{\eta_{12}} + \frac{1}{\eta_{31}} \right) \right]^{1/2}, \quad (7)$$

и уравнений связи деформаций и напряжений:

$$\begin{aligned} d\varepsilon_1 &= \frac{1}{2} \frac{d\varepsilon_i}{\sigma_i} [(\eta_{12} + \eta_{31}) \sigma_1 - \eta_{12} \sigma_2], \\ d\varepsilon_2 &= \frac{1}{2} \frac{d\varepsilon_i}{\sigma_i} [(\eta_{12} + \eta_{23}) \sigma_2 - \eta_{12} \sigma_1], \\ d\varepsilon_3 &= -\frac{1}{2} \frac{d\varepsilon_i}{\sigma_i} [\eta_{31} \sigma_1 + \eta_{23} \sigma_2], \end{aligned} \quad (8)$$

где  $\eta_{ij} = (Q + \Delta_k - \Delta_i - \Delta_j) / (Q - 1/5)$  – обобщенный показатель текстурированного состояния материала;

$Q = (S'_{1111} - S'_{1122}) / (3S'_{1111} - 3S'_{1122} - 3/2 S'_{2323})$  – характеристический параметр кристаллической решетки.

Введем величину, характеризующую напряженное состояние:

$$m = \frac{\sigma_2}{\sigma_1}, \quad (9)$$

тогда выражение для определения величины интенсивности напряжений (6) преобразуется к виду:

$$\sigma_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\eta_{12} + \eta_{31}) - 2\eta_{12}m + (\eta_{12} + \eta_{23})m^2} \sigma_1. \quad (10)$$

Установим связь между интенсивностью деформаций  $d\varepsilon_i$  и  $d\varepsilon_1, d\varepsilon_2, d\varepsilon_3$ . Для этого из системы (8) с учетом зависимости (9) выразим:

$$d\varepsilon_2 = \frac{m(\eta_{12} + \eta_{23}) - \eta_{12}}{(\eta_{12} + \eta_{31}) - m\eta_{12}} d\varepsilon_1. \quad (11)$$

Тогда, подставляя полученное выражение (11) в (7), окончательно получим:

$$d\varepsilon_1 = \frac{(\eta_{12} + \eta_{31}) - \eta_{12}m}{K} d\varepsilon_i,$$

$$d\varepsilon_2 = \frac{(\eta_{12} + \eta_{23})m - \eta_{12}}{K} d\varepsilon_i, \quad (12)$$

$$-d\varepsilon_3 = \frac{\eta_{23}m + \eta_{31}}{K} d\varepsilon_i,$$

$$K = \sqrt{2} \sqrt{(\eta_{12} + \eta_{31}) - 2\eta_{12}m + (\eta_{12} + \eta_{23})m^2}.$$

Решив уравнение (11) относительно показателя напряженного состояния  $m$ , получим формулу, которая позволяет определить величину  $m$  экспериментально, путем замера деформаций, например, с помощью координатной сетки:

$$m = \frac{(\eta_{12} + \eta_{31})d\varepsilon_2 + \eta_{12}d\varepsilon_1}{(\eta_{12} + \eta_{23})d\varepsilon_1 + \eta_{12}d\varepsilon_2}. \quad (13)$$

Подставляя соотношения (10) и (12) в неравенства (5), получим:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{d\sigma_i}{\sigma_i d\varepsilon_i} &> \frac{N - 2\eta_{12} \frac{dm}{d\varepsilon_i} + 2(\eta_{12} + \eta_{23})m \frac{dm}{d\varepsilon_i}}{K^2} + \\ &+ \frac{(\eta_{12} + \eta_{31}) - \eta_{12}m}{K}, \\ \frac{d\sigma_i}{\sigma_i d\varepsilon_i} &> \frac{N + 2\eta_{12} \frac{dm}{d\varepsilon_i} - 2(\eta_{12} + \eta_{31}) \frac{dm}{d\varepsilon_i}}{K^2} + \\ &+ \frac{(\eta_{12} + \eta_{23})m - \eta_{12}}{K}, \end{aligned} \right. \quad (14)$$

$$N = \left( \frac{d\eta_{12}}{d\varepsilon_i} + \frac{d\eta_{31}}{d\varepsilon_i} \right) - 2 \frac{d\eta_{12}}{d\varepsilon_i} m + \left( \frac{d\eta_{12}}{d\varepsilon_i} + \frac{d\eta_{23}}{d\varepsilon_i} \right) m^2.$$

При простом нагружении отношение компонент напряжений в процессе деформирования не

изменяется, т.е.  $dm/d\varepsilon_i = 0$ , а значит, между приращениями деформаций наблюдается линейная зависимость типа  $d\varepsilon_1 = \text{const} d\varepsilon_2$ . Она будет иметь место и при конечных деформациях, если ориентационные факторы текстуры  $\Delta_i$  сохраняют свое значение, т.е. при  $d\eta_{ij}/d\varepsilon_i = 0$ . С учетом сказанного неравенства (14) упрощаются и принимают следующий вид:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{d\sigma_i}{\sigma_i d\varepsilon_i} &> \frac{(\eta_{12} + \eta_{31}) - \eta_{12}m}{K}, \\ \frac{d\sigma_i}{\sigma_i d\varepsilon_i} &> \frac{(\eta_{12} + \eta_{23})m - \eta_{12}}{K} \end{aligned} \right. \quad (15)$$

Из системы (15) легко получить зависимость критической деформации от параметров текстуры  $\Delta_i$  и показателя напряженного состояния  $m$ , если известна кривая течения материала. Зависимость между интенсивностями напряжений и деформаций может быть аппроксимирована степенной функцией:

$$\sigma_i = C\varepsilon_i^n, \quad (16)$$

где  $C$  и  $n$  определяются из опыта на растяжение. Эта аппроксимация достаточно точно выражает действительную зависимость между напряжениями и деформациями [1].

Дифференцируя уравнение (16), найдем:

$$\frac{d\sigma_i}{d\varepsilon_i} = Cn\varepsilon_i^{n-1} = \frac{n}{\varepsilon_i} \sigma_i. \quad (17)$$

Подставляя зависимость (17) в систему (15), получим наибольшее значение величины устойчивости интенсивности деформаций, которая может быть реализована в процессах формоизменения высокотекстурированного материала:

$$\left\{ \begin{aligned} \varepsilon_i^{kp} &< \frac{K}{(\eta_{12} + \eta_{31}) - \eta_{12}m} n, \\ \varepsilon_i^{kp} &< \frac{K}{(\eta_{12} + \eta_{23})m - \eta_{12}} n \end{aligned} \right. \quad (18)$$

Критической является наименьшая из деформаций условия (18), взятая со знаком равенства. Рассмотрим случай, когда  $|\sigma_1| > |\sigma_2|$ , т.е. двухосное напряженное состояние потеряет устойчивость при нарушении первого из неравенств (18), подставив которое в уравнения (12), получим критические деформации при простом нагружении:

$$\begin{aligned} \varepsilon_1^{kp} &= n \\ \varepsilon_2^{kp} &= \frac{(\eta_{12} + \eta_{23})m - \eta_{12}}{(\eta_{12} + \eta_{31}) - \eta_{12}m} n \\ -\varepsilon_3^{kp} &= \frac{\eta_{23}m + \eta_{31}}{(\eta_{12} + \eta_{31}) - \eta_{12}m} n \end{aligned} \quad (19)$$

Как видно из формул (18) и (19), способность высокотекстурированного материала к пластическому формоизменению зависит от характера напряженного состояния, которое определяется величиной  $m$ , модуля упрочнения  $n$ , характеризующего способность материала к упрочнению, а также параметров текстуры  $\Delta_i$ , определяющих анизотропию и текстурированное состояние материала.

Из табл. 1, где приведены результаты расчетов по формулам (18) и (19), следует, что в отличие от изотропного материала, наибольшая равномерная деформация по толщине которого может быть реализована только в условиях равномерного двухосного растяжения при  $m = 1$ , процесс пластического формоизменения высокотекстурированного материала можно интенсифицировать даже при простом одноосном растяжении путем создания эффективной анизотропии свойств.

На рис. 2 показаны зависимости критических деформаций  $\varepsilon_i^{kp}$  от характера напряженного состояния  $m$  для различных кристаллографических ориентировок. Например, для ориентировки  $\{230\}\langle 231\rangle$  при  $m = 1$  величина критической деформации, показанная на кривой 3, составляет  $\varepsilon_i^{kp} = 3,86n$ , в то время как для изотропного металла (кривая 2) при тех же условиях эта величина равна  $2n$ . При других параметрах текстуры критическая деформация может оказаться меньшей, чем для изотропного металла (кривая 1).

При анализе устойчивости двухосного напряженного состояния по формулам (18) и (19) принималось, что усилие воспринимается одним определенным элементом, деформирующимся в процессе формообразования. Однако, возможен случай, когда ширина элемента, через который

передается усилие в момент потери устойчивости, является постоянной. Полагая на этом основании в первом неравенстве системы (3)  $d(\Delta v) = 0$ , получим условие устойчивости:

$$\frac{d\sigma_1}{\sigma_1} > -d\varepsilon_3. \quad (20)$$

Тогда критические значения деформаций с учетом выражений (10), (12) и (17), а также принятого допущения о простом нагружении, примут вид:

$$\begin{aligned} \varepsilon_i^{kp} &\leq \frac{K}{\eta_{23}m + \eta_{31}} n, \\ \varepsilon_1^{kp} &= \frac{(\eta_{12} + \eta_{31}) - \eta_{12}m}{\eta_{23}m + \eta_{31}} n, \\ \varepsilon_2^{kp} &= \frac{(\eta_{12} + \eta_{23})m - \eta_{12}}{\eta_{23}m + \eta_{31}} n, \\ -\varepsilon_3^{kp} &= n \end{aligned} \quad (21)$$

В табл. 2 приведены значения деформаций, вычисленные по формулам (21). В этом случае процесс формообразования отличается большей устойчивостью. При  $m = -\eta_{31}/\eta_{23}$  устойчивость получается неограниченной, и процесс формообразования может продолжаться без локализации до полного исчерпания пластичности.

Значения критических деформаций в табл. 1-2 представляют собой их пределы, определяемые только устойчивостью процесса. Эти значения могут быть реализованы, если пластичность деформируемого материала достаточна.

Для оценки локального деформированного

**Таблица 1.** Величины критических деформаций при  $|\sigma_1| > |\sigma_2|$

$m$	$\varepsilon_i^{kp}$	$(\varepsilon_1^p)^{kp}$	$(\varepsilon_2^p)^{kp}$	$(\varepsilon_3^p)^{kp}$
-1	$\sqrt{2} \frac{\sqrt{4\eta_{12} + \eta_{23} + \eta_{31}}}{2\eta_{12} + \eta_{31}} n$	$n$	$-\frac{2\eta_{12} + \eta_{23}}{2\eta_{12} + \eta_{31}} n$	$\frac{\eta_{23} - \eta_{31}}{2\eta_{12} + \eta_{31}} n$
-0,5	$\sqrt{2} \frac{\sqrt{9\eta_{12} + \eta_{23} + 4\eta_{31}}}{3\eta_{12} + 2\eta_{31}} n$	$n$	$-\frac{3\eta_{12} + \eta_{23}}{3\eta_{12} + 2\eta_{31}} n$	$\frac{\eta_{23} - 2\eta_{31}}{3\eta_{12} + 2\eta_{31}} n$
0	$\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{\eta_{12} + \eta_{31}}} n$	$n$	$-\frac{\eta_{12}}{\eta_{12} + \eta_{31}} n$	$-\frac{\eta_{31}}{\eta_{12} + \eta_{31}} n$
0,5	$\sqrt{2} \frac{\sqrt{\eta_{12} + \eta_{23} + 4\eta_{31}}}{\eta_{12} + 2\eta_{31}} n$	$n$	$-\frac{\eta_{12} - \eta_{23}}{\eta_{12} + 2\eta_{31}} n$	$-\frac{\eta_{23} + 2\eta_{31}}{\eta_{12} + 2\eta_{31}} n$
1	$\sqrt{2} \frac{\sqrt{\eta_{23} + \eta_{31}}}{\eta_{31}} n$	$n$	$\frac{\eta_{23}}{\eta_{31}} n$	$-\frac{\eta_{23} + \eta_{31}}{\eta_{31}} n$

Таблица 2. Величины критических деформаций при  $d(\Delta v) = 0$

$m$	$\varepsilon_i^{kp}$	$(\varepsilon_1^p)^{kp}$	$(\varepsilon_2^p)^{kp}$	$(\varepsilon_3^p)^{kp}$
-1	$\sqrt{2} \frac{\sqrt{4\eta_{12} + \eta_{23} + \eta_{31}}}{\eta_{31} - \eta_{23}} n$	$-\frac{2\eta_{12} + \eta_{31}}{\eta_{23} - \eta_{31}} n$	$\frac{2\eta_{12} + \eta_{23}}{\eta_{23} - \eta_{31}} n$	$-n$
-0,5	$\sqrt{2} \frac{\sqrt{9\eta_{12} + \eta_{23} + 4\eta_{31}}}{2\eta_{31} - \eta_{23}} n$	$-\frac{3\eta_{12} + 2\eta_{31}}{\eta_{23} - 2\eta_{31}} n$	$\frac{3\eta_{12} + \eta_{23}}{\eta_{23} - 2\eta_{31}} n$	$-n$
0	$\sqrt{2} \frac{\sqrt{\eta_{12} + \eta_{31}}}{\eta_{31}} n$	$\frac{\eta_{12} + \eta_{31}}{\eta_{31}} n$	$-\frac{\eta_{12}}{\eta_{31}} n$	$-n$
0,5	$\sqrt{2} \frac{\sqrt{\eta_{12} + \eta_{23} + 4\eta_{31}}}{\eta_{23} + 2\eta_{31}} n$	$\frac{\eta_{12} + 2\eta_{31}}{\eta_{23} + 2\eta_{31}} n$	$-\frac{\eta_{12} - \eta_{23}}{\eta_{23} + 2\eta_{31}} n$	$-n$
1	$\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{\eta_{23} + \eta_{31}}} n$	$\frac{\eta_{31}}{\eta_{23} + \eta_{31}} n$	$\frac{\eta_{23}}{\eta_{23} + \eta_{31}} n$	$-n$

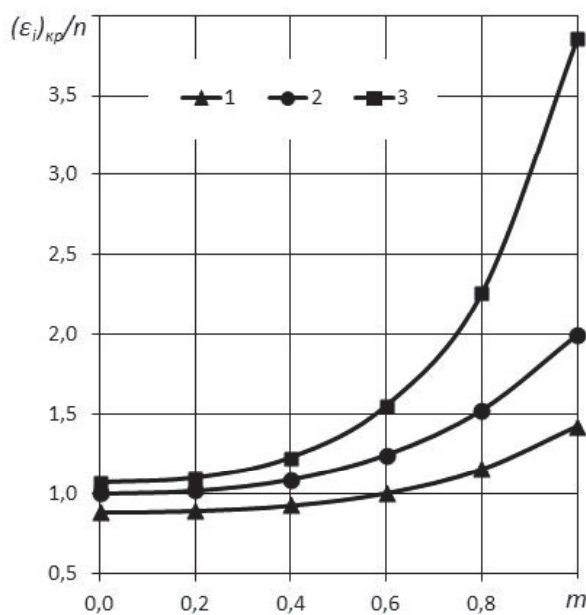


Рис. 2. Зависимость критической деформации анизотропного листового металла

от напряженного состояния и параметров текстуры:  
 1 —  $\Delta_1 = 0,09, \Delta_2 = 0,270, \Delta_3 = 0,274$  ( $\{133\} <130>$ );  
 2 —  $\Delta_1 = \Delta_2 = \Delta_3 = 0,2$  (изотропная среда);  
 3 —  $\Delta_1 = 0,25, \Delta_2 = 0,067, \Delta_3 = 0,213$  ( $\{230\} <231>$ )

состояния воспользуемся коэффициентом локального использования пластичности [4]:

$$\psi = \frac{\varepsilon_i}{\varepsilon_i^{kp}}, \quad (22)$$

который показывает во сколько раз локальная накопленная интенсивность деформаций меньше критической. При  $\psi = 1$  возникает опасность появления разрывов листовой заготовки.

Устойчиво формообразование идет при запасе пластичности  $\sim 20\%$ , т.е.  $\psi = 0,8$ , при котором компенсируются изменения механических характеристик одной партии металла и условий штамповки.

### ВЫВОДЫ

1. Разработана запись критерия устойчивости процесса формообразования анизотропных заготовок, учитывающая в явном виде кристаллографическую природу анизотропии свойств через ориентационные факторы текстуры и константы кристаллической решетки металлов.
2. Анализ полученных соотношений показал, что, управляя составом текстуры, т.е. набором кристаллографических ориентировок и их весовыми долями, можно значительно повысить степень предельного деформирования ортотропного анизотропно-упрочняющегося материала в условиях плоского напряженного состояния.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аверкиев А.Ю. Методы оценки штампуемости листового металла. М.: Машиностроение, 1985. 176 с.
2. Гречников Ф.В. Деформирование анизотропных материалов (резервы интенсификации). М.: Машиностроение, 1998. 448 с.
3. Колмогоров В.Л. Напряжения, деформации, разрушение. М.: Металлургия, 1970. 229 с.
4. Тольмонов А.Д. Теория пластического деформирования металлов. М.: Металлургия, 1972. 408 с.
5. Теория обработки металлов давлением: учеб. для вузов [под ред. В.А. Голенкова, С.П. Яковлева]. М.: Машиностроение, 2009. 442 с.
6. Гречников Ф.В., Ерисов Я.А. Разработка критерия пластичности для расчетов формообразования вы-

соко текстурированных анизотропных заготовок //  
Вестник Самарского аэрокосмического университе-

та имени академика С.П. Королёва (национальный  
исследовательский университет). 2012. №1.

**EFFECT OF ORIENTATION FACTORS ON THE BUCKLING  
DURING FORMING OF ANISOTROPIC BLANKS**

© 2012 F.V. Grechnikov, Ya.A. Erisov

Samara State Aerospace University named after Academician S.P. Korolyov  
(National Research University)

In this article using approach suggested by A.D. Tomlenov we described the effect of orientation factors and lattice constants on the buckling failure of sheet anisotropic blanks during forming.

Key words: anisotropy, orientation factors, hardening parameter, buckling failure, necking, plane stress.

---

*Boris Skvortsov, Doctor of Technics, Professor, Supervisor at  
the Research Laboratory «Analytical Devices and Systems».*

*E-mail: aps@ssau.ru.*

*Margarita Golikova, Graduate Student, Engineer at the  
Research Laboratory «Analytical Devices and Systems».*

*E-mail: aps@ssau.ru.*