

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАВНОКАНАЛЬНОГО СТУПЕНЧАТОГО ПРЕССОВАНИЯ С ТЕЧЕНИЕМ МЕТАЛЛА В ТРЕХ ПЛОСКОСТЯХ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ «DEFORM-3D»

MODELING OF PROCESS OF EQUAL CHANNEL STEP PRESSING WITH FLOW OF METAL IN THREE PLANES IN PROGRAM COMPLEX “DEFORM-3D”

¹ А.Б. Найзабеков, ² С.Н. Лежнев, ² Е.А. Панин

(¹Рудненский индустриальный институт, г. Рудный, Казахстан, ²Карагандинский государственный индустриальный университет, г. Темиртау, Казахстан, Sergey_legnev@mail.ru)

Abstract

In this paper the modeling of equal channel step pressing with the flow of metal in three planes with a variation of the basic geometric factor - the angle of the junction channels. In analyzing the effect of this factor on the stress-strain state of the metal is established that joint angle channel matrix has a significant influence on the distribution of the accumulated strain and stress throughout the volume of the preform in the implementation of equal channel step pressing with the flow of metal in three planes.

В последние годы при разработке или исследовании того или иного технологического процесса, в том числе и технологических процессов обработки металлов давлением, все чаще используется математическое моделирование, поскольку оно позволяет исследователю заглянуть «внутрь» процесса, оценить возникающие напряжения и деформации, предсказать появление дефектов. Помимо этого, при помощи моделирования появляется возможность выявить рациональные параметры инструмента и заготовки для наилучшего протекания процесса, минуя дорогостоящие эксперименты. Для моделирования процессов обработки металлов давлением уже давно используют различные программные комплексы, в том числе и программный комплекс DEFORM.

Так на кафедре «ОМД» Карагандинского государственного индустриального университета с помощью программного комплекса DEFORM была усовершенствована известная конструкция равноканальной ступенчатой матрицы для прессования. Отличительной особенностью новой конструкции равноканальной ступенчатой матрицы является то, что течение металла в предлагаемой конструкции матрицы осуществляется не в двух плоскостях, а в трех плоскостях [1].

В связи с тем, что при разработке любого технологического процесса обработки давлением исследование напряженно-деформированного состояния (НДС) является одним из важнейших этапов разработки, так как именно анализ НДС позволяет изучить распределение накопленной деформации во всем объеме заготовки при деформировании и выявить те зоны, которые в большей мере подвержены деформации, а на основе этого определить рациональные параметры деформирования, а так же позволяет оценить возникающие напряжения при деформировании и выявить наиболее опасные участки, где возможна поломка инструмента, то данная работа посвящена именно исследованию напряженно-деформированного состояния металла при деформировании его в равноканальной ступенчатой матрице, обеспечивающей течение металла в трех плоскостях.

Ранее уже было изучено напряженно-деформированное состояние при деформировании металла в равноканальной ступенчатой матрице, обеспечивающей течение в двух плоскостях, и было изучено влияние на него основных геометрических и технологических факторов деформирования [2, 3]. В ходе данных исследований было выявлено, что одним из основных геометрических факторов, оказывающих влияние на НДС при равноканальном ступенчатом прессовании, является угол стыка каналов в продольном направлении. Данная же работа посвящена исследованию влияния угла стыка каналов в поперечном направлении на НДС, при деформировании металла в равноканальной ступенчатой матрице, реализующей течение металла в трех плоскостях и определению оптимального значения данного угла, обеспечивающего получение благоприятного напряженно-деформированного состояния для получения металла с субультрамелкозернистой структурой за меньшее количество циклов.

Исследования проводили в программном комплексе DEFORM. Для этого на первом этапе исследований в программе «КОМПАС» были построены 4 модели равноканальной ступенчатой матрицы. Первая равноканальная ступенчатая матрица имела «классическую» конструкцию, в которой направление течения металла менялось лишь в двух плоскостях (для проведения сравнительного анализа). Остальные 3 матрицы имели схожую с первой матрицей конструкцию, с той лишь разницей, как уже было отмечено выше, в них направление течения металла осуществляется не в двух, а в трех плоскостях. Угол стыка каналов в продольном направлении (угол α) во всех матрицах принимался равный 135 градусов, как наиболее оптимальный при равноканальном ступенчатом прессовании [2]. Угол стыка каналов в поперечном направлении (угол β) в первой матрице был равен нулю, в остальных трех матрицах он был равен соответственно 15, 25 и 35 градусов (рис. 1).

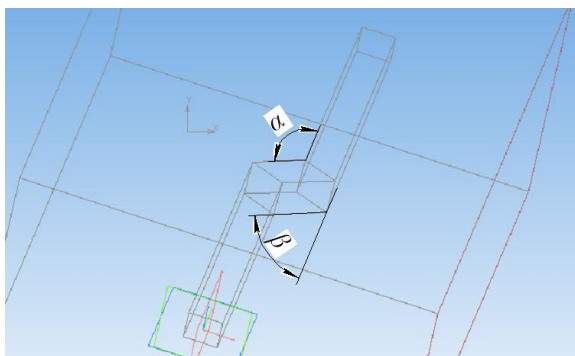


Рис. 1 – Схема конструкции каналов в матрице с течением в трех плоскостях

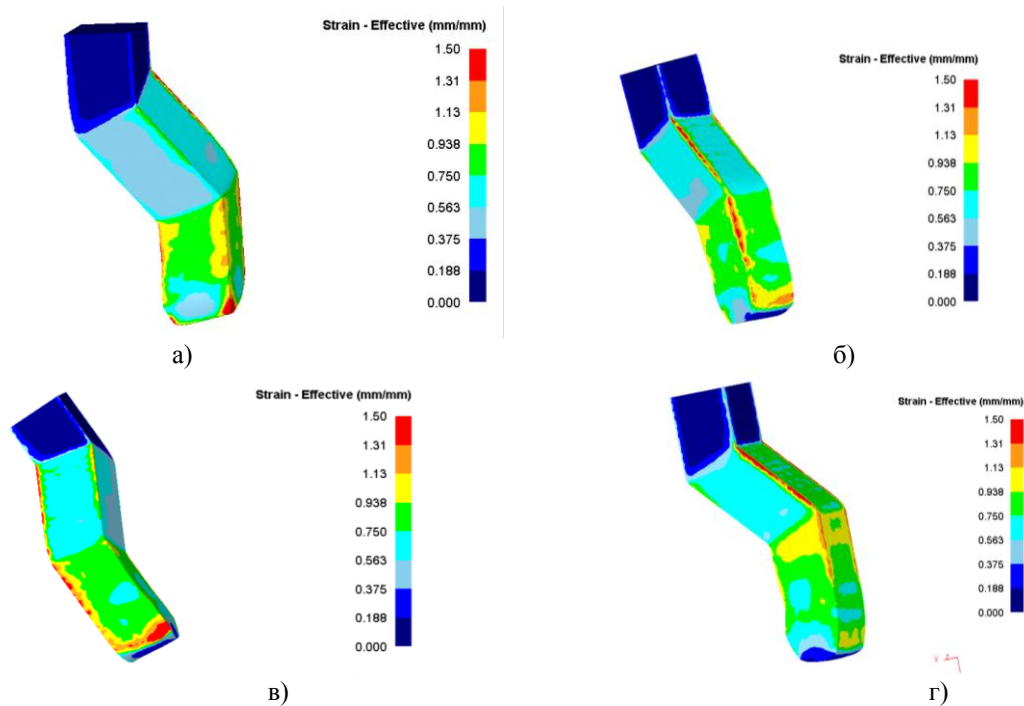
Исходная заготовка имела размеры $h_0 \times b_0 \times l_0 = 20 \times 20 \times 100$ мм. На данную модель была нанесена сетка конечных элементов, равномерно распределенных по всему объему заготовки. Средний размер конечного элемента составил 1,3 мм, количество узлов – 30699, количество элементов – 96024.

В качестве материала заготовки была выбрана сталь 35, нагретая до температуры 1100 °С. Рео-

логические свойства материала были взяты из базы данных DEFORM-3D. Был выбран неизотермический тип расчета, т.е. помимо отдачи тепла инструменту, заготовка еще отдавала тепло в окружающую среду, температура которой была принята 20 °С. При ранее проведенных исследованиях равноканального ступенчатого прессования [3] было установлено, что от значения коэффициента трения в матрице будет зависеть требуемое усилие, необходимое для стабильного протекания процесса деформирования. Поэтому для минимизации его значения нами при моделировании было взято значение коэффициента трения равное 0,1.

Для тщательного изучения напряженно-деформированного состояния были рассмотрены следующие параметры:

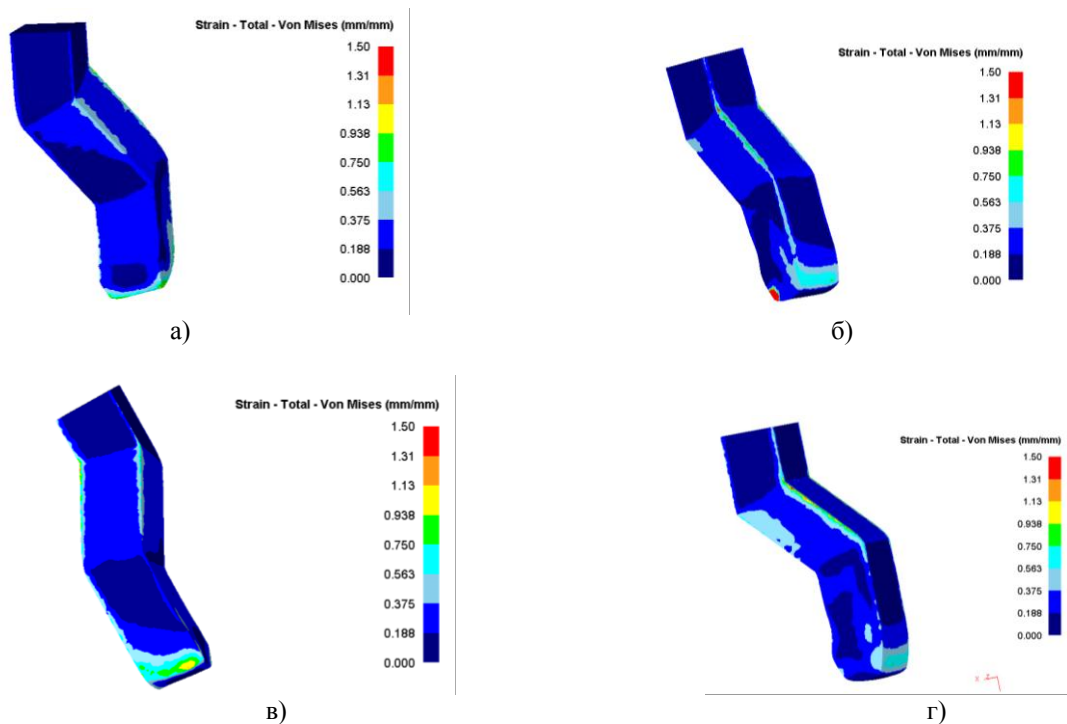
- 1) Эквивалентная деформация *StrainEffective* (общая интенсивность деформаций).
- 2) Деформация по Мизесу *Strain-vonMises* (интенсивность деформаций сдвига).
- 3) Эквивалентное напряжение *StressEffective* (интенсивность напряжений).



а – матрица с углом $\beta = 0^\circ$; б - матрица с углом $\beta = 15^\circ$;
в – матрица с углом $\beta = 25^\circ$; г - матрица с углом $\beta = 35^\circ$.
Рис. 2 - Распределение эквивалентной деформации *StrainEffective*

Накопление эквивалентной деформации происходит при движении заготовки во втором и в третьем каналах матрицы. В матрице с углом $\beta = 0^\circ$ распределение эквивалентной деформации, имеет неравномерный характер (рис. 2 а), отчетливо видны зоны разных значений деформации, значение которой колеблется в диапазоне 0,7÷1. С повышением значения угла β распределение эквивалентной

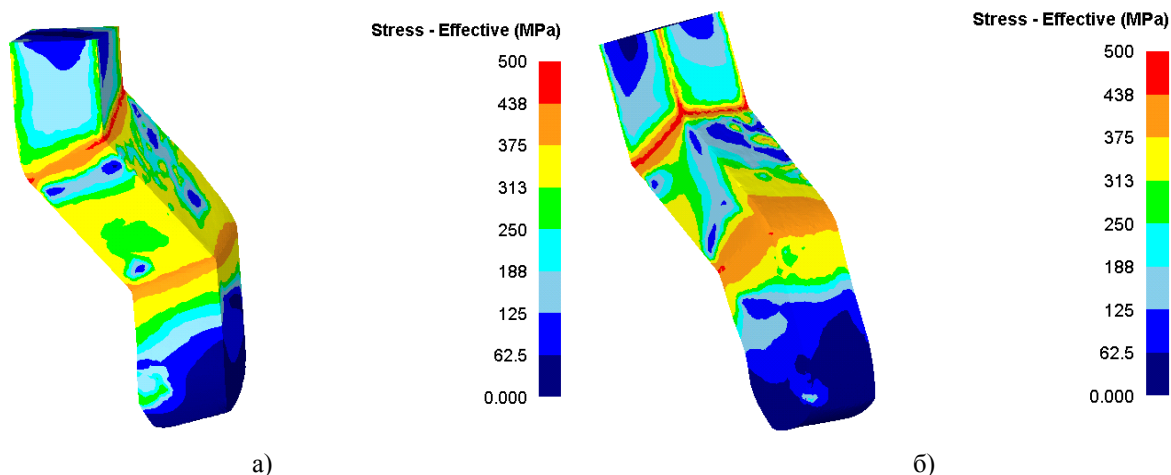
деформации по длине заготовки становится более равномерным, а его численное значение увеличивается. В матрице с углом $\beta = 15^\circ$ значение эквивалентной деформации на втором этапе равно $0,75 \div 1,07$; в матрице с углом $\beta = 25^\circ$ оно равно $0,85 \div 1,1$; в матрице с углом $\beta = 35^\circ$ оно равно $0,92 \div 1,22$.

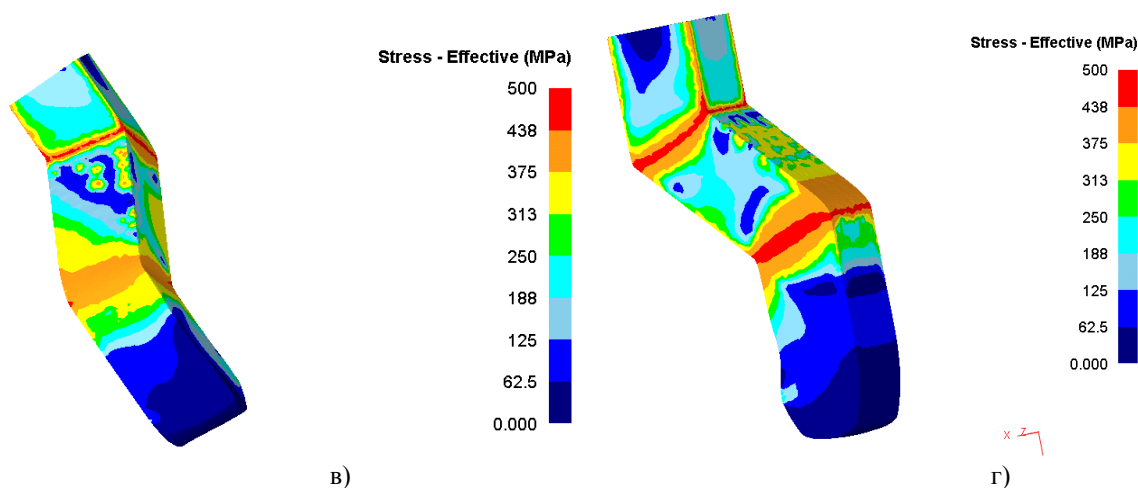


а – матрица с углом $\beta = 0^0$; б - матрица с углом $\beta = 15^0$;
 в – матрица с углом $\beta = 25^0$; г - матрица с углом $\beta = 35^0$.
 Рис. 3 - Распределение деформации по Мизесу *Strain von Mises*

Деформации по Мизесу определяются как доля сдвиговых деформаций от общего значения эквивалентных деформаций, поэтому их значение всегда будет меньше, чем *Strain Effective*. Накопление деформации по Мизесу происходит при движении заготовки во втором и в третьем каналах матрицы. В матрице с углом $\beta = 0^0$ распределение деформации сдвига, имеет неравномерный характер, отчетливо видны зоны разных значений де-

формации, значение которой колеблется в диапазоне $0,2 \div 0,35$. С повышением значения угла β распределение деформации сдвига по длине заготовки становится более равномерным, а его численное значение увеличивается. В матрице с углом $\beta = 15^0$ значение деформации на втором этапе равно $0,27 \div 0,38$; в матрице с углом $\beta = 25^0$ оно равно $0,3 \div 0,47$; в матрице с углом $\beta = 35^0$ оно равно $0,38 \div 0,54$.





а – матрица с углом $\beta = 0^\circ$; б - матрица с углом $\beta = 15^\circ$;
в – матрица с углом $\beta = 25^\circ$; г - матрица с углом $\beta = 35^\circ$.
Рис. 4 - Распределение эквивалентного напряжения *StressEffective*

Эквивалентное напряжение является условной величиной, которая включает в себя все компоненты тензора напряжений. Являясь подкоренным выражением, имеет только положительные значения. Смысл данного параметра состоит в том, чтобы показать в какой-либо точке деформируемого тела среднюю величину всех действующих напряжений (так называемая интенсивность напряжений).

На втором этапе распределение эквивалентного напряжения находится в двух ярко выраженных зонах: в зоне стыка первого и второго каналов и в зоне стыка второго и третьего каналов. В матрице с углом $\beta = 0^\circ$ в пристыковочной зоне значение эквивалентного напряжения колеблется в диапазоне 180÷200 МПа. В зоне стыка каналов значение эквивалентного напряжения возрастает и находится в диапазоне 420÷450 МПа. С повышением значения угла β численное значение эквивалентного напряжения увеличивается. В матрице с углом $\beta = 15^\circ$ значение эквивалентного напряжения в пристыковочной зоне равно 220÷250 МПа; в зоне стыка каналов - 430÷470 МПа. В матрице с углом $\beta = 25^\circ$ значение эквивалентного напряжения в пристыковочной зоне равно 260÷320 МПа; в зоне стыка каналов - 460÷490 МПа. В матрице с углом $\beta = 35^\circ$ значение эквивалентного напряжения в пристыковочной зоне равно 290÷340 МПа; в зоне стыка каналов - 480÷500 МПа.

Выводы: Было проведено математическое моделирование процесса равноканального ступенчатого прессования с течением металла в трех плоскостях в программном комплексе «DEFORM-3D» с варьированием основного геометрического фактора – углом стыка каналов в третьей плоскости. Анализ влияния данного фактора на напряженно-деформированное состояние металла показал, что дополнительный угол стыка каналов матрицы оказывает благоприятное влияние на распределение НДС во всем объеме заготовки при осуществлении прессования металла в равнока-

нальной ступенчатой матрице, обеспечивающей течение металла в трех плоскостях. А это в свою очередь позволяет прогнозировать нам получение металла с субультрамелкозернистой структурой при использовании равноканальной ступенчатой матрицы новой конструкции за меньшее количество циклов по сравнению с известной конструкцией равноканальной ступенчатой матрицы.

Список литературы

1. Патент РК №25864 МКИ³ B21 J 5/00., 2013 бюл №6. Устройство для прессования металла. Найзабеков А.Б., Лежнев С.Н., Панин Е.А.
2. Найзабеков А.Б., Лежнев С.Н., Ногаев К.А. Исследование влияния различных факторов на напряженное состояние металла при деформировании заготовок в равноканальной ступенчатой матрице. / Республиканский научный журнал. Технологии производства металлов и вторичных материалов. Темиртау, 2007, №2. – С. 157-167.
3. Найзабеков А.Б., Лежнев С.Н., Ногаев К.А. Отчет по научно-технической работе «Разработка и развитие теоретических основ получения наноструктурных материалов энергосберегающими технологиями обработки давлением» по программе: «Фундаментальные научные исследования». 2006-2008. - 135 с.