

Таблица 3

Номер этапа	Ψ_i	Схема 1		Схема 2	
		Λ_{p_i}	$\bar{\Psi}_i$	Λ_{p_i}	$\bar{\Psi}_i$
1	0,259	1,686	0,178	4,409	0,068
2	0,188	2,617	0,191	2,689	0,187
3	0,116	4,124	0,170	1,561	0,449
		$\Psi_{\Sigma} = 0,563$			

Определим среднее значение β для всех экспериментов: $\beta=1,2708$. Результаты расчета с полученным значением β (столбец 2, табл. 2) показывают хорошее соответствие результатам эксперимента и в точности не уступают результатам расчетов авторов работы [2], которые получили $\Psi=0,98\pm 0,19$.

Отметим важное достоинство предлагаемого критерия Ψ – его значения зависят от последовательности чередования этапов деформирования с различными показателями напряженного состояния. Проиллюстрируем это.

Рассмотрим трехэтапное деформирование цилиндрического образца из стали 30 по следующим схемам:

1) Схема 1: этап 1 – растяжение; этап 2 – кручение; этап 3 – сжатие.

2) Схема 2: этап 1 – сжатие; этап 2 – кручение; этап 3 – растяжение.

Степень деформации сдвига на этапах прием равной: этап 1 – $\Lambda_1=0,3$, этап 2 – $\Lambda_2=0,5$, этап 3 – $\Lambda_3=0,7$.

Определим коэффициент β : растяжение $\beta(0,58)=1,281$; кручение $\beta(0)=1,225$; сжатие

$\beta(-0,58)=1,172$. Результаты расчета приведены в табл. 3. Видно, что последовательность нагружения влияет на величину поврежденности образца: при нагружении по схеме 1 поврежденность на последнем этапе равна 0,170, а по схеме 2 – 0,449.

Расчет по линейной модели Колмогорова В.Л. показывает, что накопленная поврежденности не зависит от последовательности этапов деформирования и равна 0,563.

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о том, что данная методика позволяет достаточно точно прогнозировать ресурс пластичности для любого материала и режима нагружения и может быть использована при решении практических задач обработки металлов давлением.

Библиографический список

1. Колмогоров В.Л. Напряжения. Деформации. Разрушение. М.: Металлургия, 1970. 229 с.
2. Пластичность и разрушение / Под ред. Колмогорова В.Л. М.: Металлургия, 1977. 336 с.
3. Богатов А.А., Мижирицкий О.И., Смирнов С.В. Ресурс пластичности металлов при обработке давлением. М.: Металлургия, 1984. 144 с.
4. Колмогоров В.Л., Мигачев Б.А., Бурдуковский В.Г. // Металлы. № 6. 1995. С. 132–141.
5. Рыбин В.В. Большие пластические деформации и разрушение металлов. М.: Металлургия, 1986. 224 с.
6. Грешнов В.М., Лавриненко Ю.А., Напалков А.В. // Кузнечно-штамповочное производство. 1998. № 5. С. 3–6.
7. Малинецкий Г.Г. Хаос. Структуры. Вычислительный эксперимент: Введение в нелинейную динамику. М.: Эдиториал УРСС, 2000. 256 с.
8. Трофимов В.Н. // Изв. вузов. Черная металлургия. 2002. № 5. С. 24–28.
9. Скуднов В.А. Предельные пластические деформации металлов. М.: Металлургия, 1989. 176 с.

УДК 621

А. Е. Экк, В. Г. Шеркунов

ПОВЕДЕНИЕ ЗАГОТОВКИ И ФОРМОИЗМЕНЕНИЕ МЕТАЛЛА ПРИ НЕПРЕРЫВНОМ РАВНОКАНАЛЬНОМ УГЛОВОМ ПРЕССОВАНИИ С РАДИУСАМИ В УГЛАХ ПЕРЕСЕЧЕНИЯ КАНАЛА

Известен способ равноканального углового прессования, который применяют для получения изделий с ультрамелкой структурой. Однако этим способом можно получить заготовки ограниченной длины. Одним из вариантов получения длинномерных изделий может быть использование процесса непрерывного прессования «Конформ».

В основе этого способа лежит использование активных сил трения. На рис. 1 изображена схема процесса непрерывного прессования «Конформ». Устройство состоит из движущегося контейнера (колеса) и неподвижного инструмента (называемого башмаком), который вместе с колесом создает закрытый калибр. Заготовка задается в зазор между

башмаком и колесом, силами трения втягивается в зону перед пересечением каналов, где подвергается интенсивному пластическому деформированию. По мере поворота колеса давление в зоне пересечения каналов увеличивается и за счет этого заготовка прессуется в радиальный канал [1].

Так как процесс является малоизученным, при моделировании процесса непрерывного равноканального прессования «Конформ» ставится задача получения информации о реальном течении материала и распределении деформации по объему заготовки.

Непрерывное прессование проследим в два этапа. Первым этапом будем считать процесс

задания заготовки в канал прессования и продвижение ее до упора. Вторым – деформирование заготовки и выпрессовку в радиальный канал. В качестве примера прессования примем следующие данные. Заготовка поперечного сечения 12×12 мм. Установка имеет следующие геометрические данные: радиус колеса $R=200$ мм; угол обхвата колеса заготовкой $\varphi_k=75^\circ$; угол обхвата колеса башмаком $\varphi_b=75^\circ$. Размеры канала, образованного П-образной канавкой колеса и башмаком, 12×12 мм. Радиусы в углах пересечения канала 2 мм. Коэффициент трения на всех стенках канала одинаковый $f=0,1$. Угловая скорость колеса $V_k = 0,15$ рад/с.

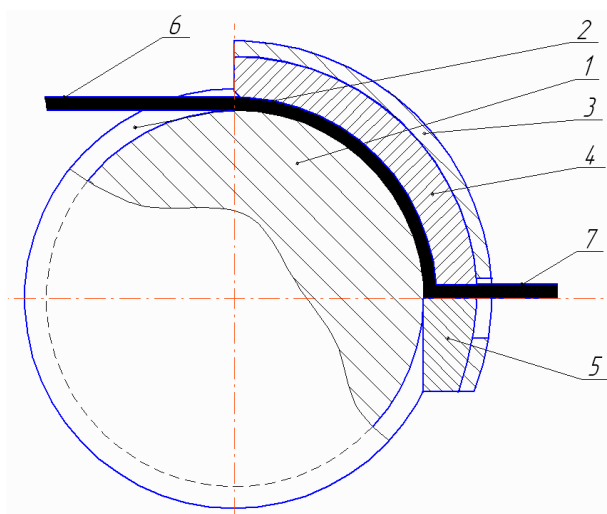


Рис. 1. Схема процесса непрерывного прессования «Конформ»:

- 1 – рабочее колесо; 2 – П-образная канавка;
3 – башмак; 4 – кольцевая вставка;
5 – упор; 6 – заготовка; 7 – изделие

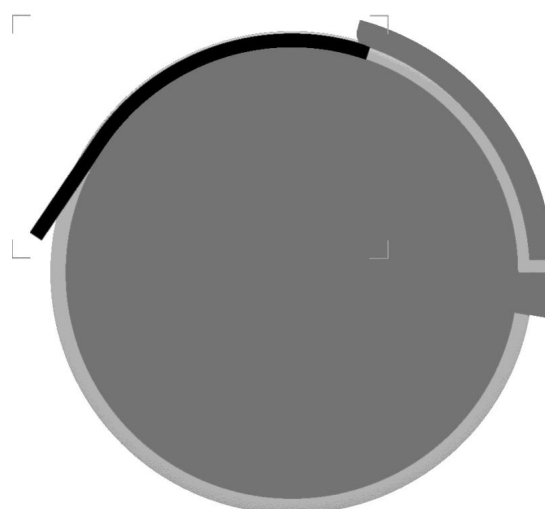


Рис. 2. Эскиз первоначального положения заготовки в канале прессования

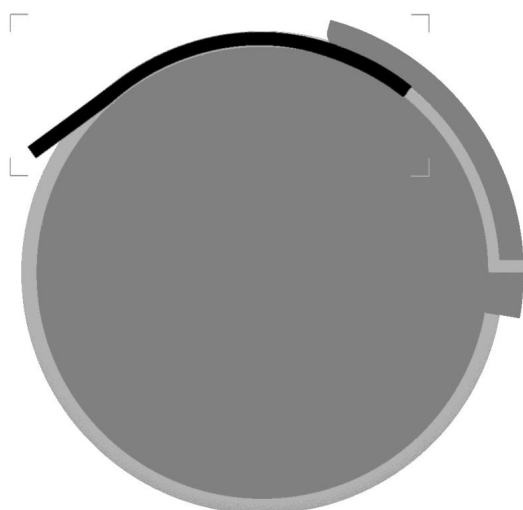


Рис. 3. Положение заготовки на 4 шаге моделирования

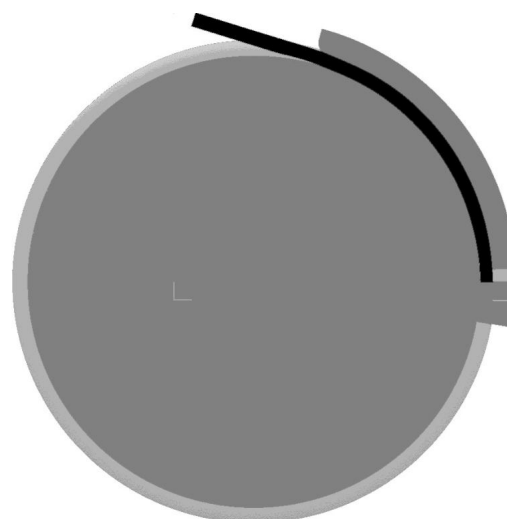


Рис. 4. Положение заготовки на 7 шаге моделирования

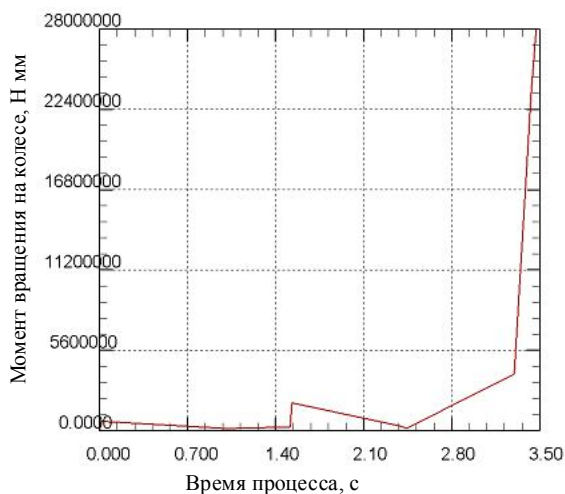


Рис. 5. График момента вращения на колесе

На рис. 2 показан эскиз установки и первоначальное положение заготовки в канале прессования. На рис. 3, 4 — последующие стадии моделирования. На 4 шаге (см. рис. 3) моделирования видно, что заготовка отрывается от дна канавки и перемещается в радиальном направлении. В результате этого перемещения заготовка заклинивается на входе в канал прессования, этим объясняются зубцы на графике момента вращения на колесе, представленном на рис. 5.

На рис. 6 показана заготовка с нанесенной сеткой вблизи упора башмака. Далее начинается этап деформирования заготовки. На рис. 7–9 показаны стадии, соответствующие 9, 11 и 13 шагу моделирования процесса относительно положения на рис. 6. Видно, что исследуемый процесс имеет сходство с осадкой с односторонним боковым течением.

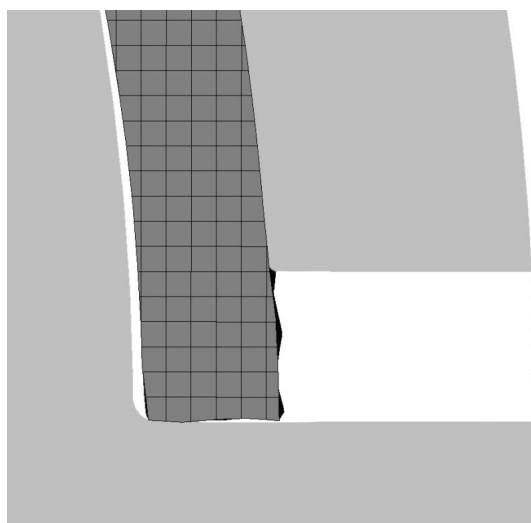


Рис. 6. Часть заготовки с нанесенной сеткой размером 2x2

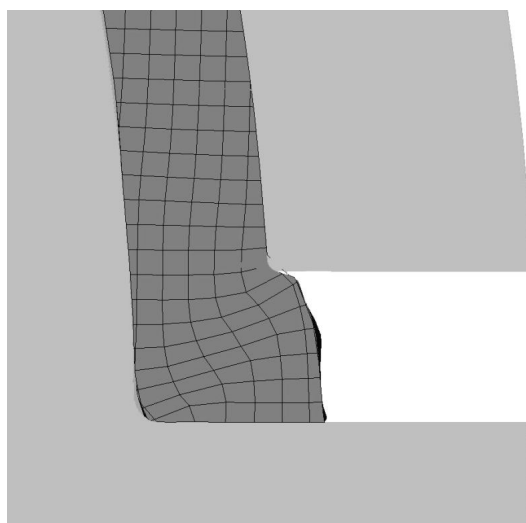


Рис. 7. Положение заготовки на 9 шаге моделирования

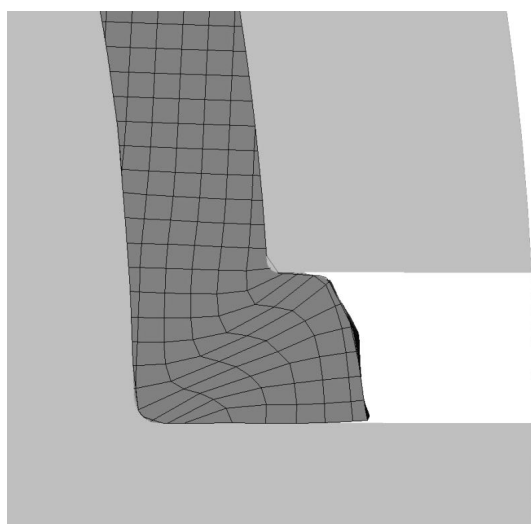


Рис. 8. Положение заготовки на 11 шаге моделирования

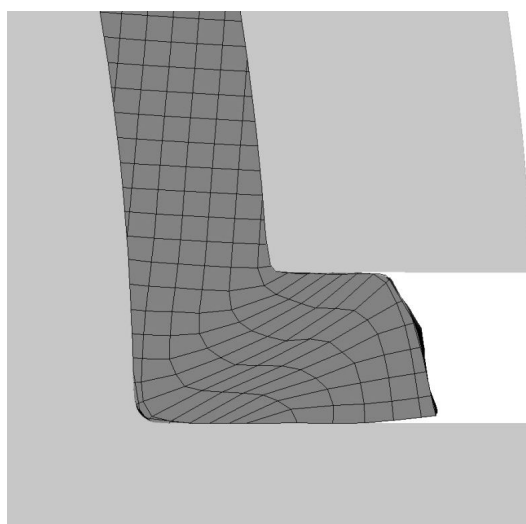


Рис. 9. Положение заготовки на 13 шаге моделирования

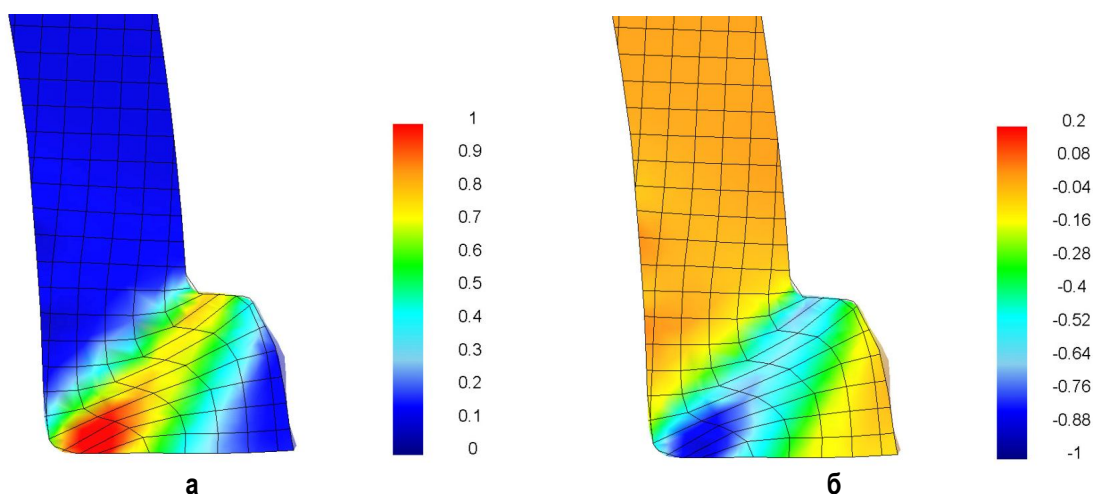
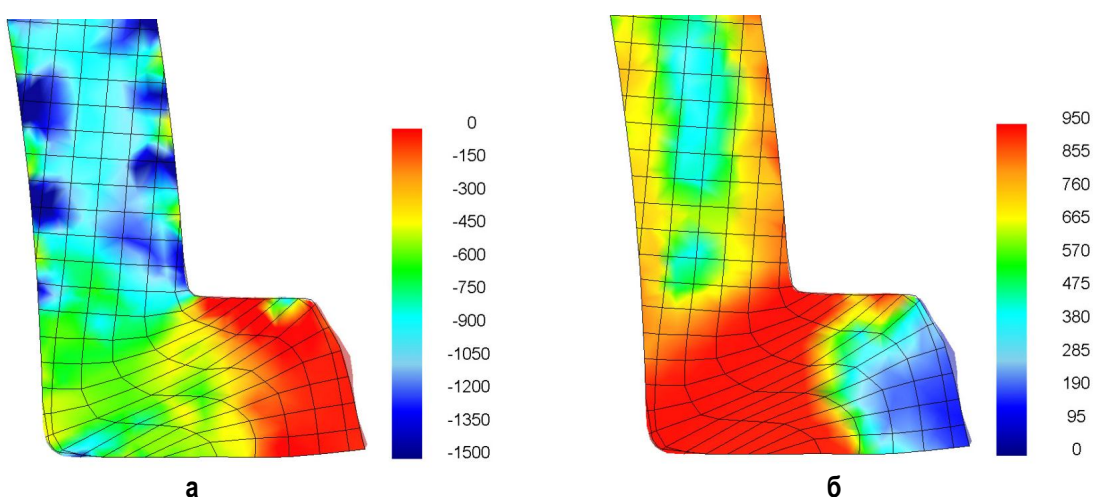


Рис. 10. Области поперечных (а) и высотных (б) деформаций, 7 шаг моделирования

Рис. 11. Области уровней гидростатического напряжения σ_0 (а) и интенсивности напряжения σ_i (б)

На рис. 10 изображены области деформаций ϵ_x и ϵ_y , соответствующие положению заготовки, показанному на рис. 8. Пластические деформации наблюдаются вблизи упора башмака. Максимальный уровень деформации ϵ_x и ϵ_y наблюдается в районе линии, соединяющей угловые точки канала. Поскольку пластические деформации велики, соотношение между этими компонентами деформации подчиняются условию постоянства объема. В вертикальной части канала имеют место упругие деформации, обусловленные всесторонним почти равномерным сжатием; нижний треугольник в горизонтальной части канала перемещается как единое целое без заметных искажений исходной сетки конечных элементов. Области высокой интенсивности деформации постепенно распространяется на радиальный участок канала.

На рис. 11 представлены инвариантные характеристики напряженного состояния: среднее, или гидростатическое напряжение σ_0 , и интен-

сивность напряжений σ_i для положения, показанного на рис. 9. Области высоких средних сжимающих напряжений находятся в вертикальной части канала; в горизонтальной части канала у свободной поверхности – гидростатические напряжения растягивающие. Область интенсивностей напряжений, равных пределу текучести, или (что то же) область пластических деформаций сосредоточена на стыке вертикальной и горизонтальной частей канала.

При положении заготовки, показанном на рис. 9, начинается установившийся процесс пресования. Новые порции металла, поступающие из верхней части канала, вынуждают продеформированный металл смещаться как единое целое вдоль канала в горизонтальном направлении, в угловой области канала они получают те же значения величин деформации и уходят в открытую часть канала. Величины продольной ϵ_y и поперечной ϵ_x деформаций достигают предельного значения.

Результатом вышесказанного является, то что процесс непрерывного прессования «Конформ» схож с процессом равноканального углового прессования. Это подтверждается результатами, полученными в ходе моделирования: продеформированный металл, перемещающийся в горизонтальной части канала как единое целое, имеет такую же накопленную интенсивность деформации, как и в равноканальном угловом прессовании, около 110%; угол наклона сетки после деформации равен 26–27° и соответствует теоретическому углу сдвига. Заготовка имеет более однородное распределение интенсивности деформации, в нижней части угла нет «застойной зоны», по сравнению с заготовкой, прошедшей через канал с острыми углами.

Результатом вышесказанного является, то что процесс непрерывного прессования «Конформ» схож с процессом равноканального углового прессования. Это подтверждается результатами, полученными в ходе моделирования: продеформированный металл, перемещающийся в горизонтальной части канала как единое целое, имеет такую же накопленную интенсивность деформации, как и в равноканальном угловом прессовании, около 110%; угол наклона сетки после деформации равен 26–27° и соответствует теоретическому углу сдвига. Заготовка имеет более однородное распределение интенсивности деформации, в нижней части угла нет «застойной зоны», по сравнению с заготовкой, прошедшей через канал с острыми углами.

Библиографический список

1. Корнилов В.Н. Непрерывное прессование со сваркой алюминиевых сплавов. Красноярск: Изд-во педагогического ин-та, 1993. 216 с.
2. Сегал В.М., Резников В.И., Копылов В.И. Процессы пластического структурообразования металлов. Минск: Наука и техника, 1994.
3. Рыбин Ю.И., Рудской А.И., Золотов А.М. Математическое моделирование и проектирование технологических процессов обработки металлов давлением. СПб.: Наука, 2004. 644 с.

УДК 621.771

М. И. Румянцев, И. Г. Шубин, О. Ю. Носенко

КОНСТРУИРОВАНИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ РАСЧЕТА ТЕМПЕРАТУРЫ НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ ПРИ ПРОКАТКЕ НА ШСГП

В данной работе предлагается сконструировать математическую модель, адекватно описывающую изменение температуры металла при листовой горячей прокатке на широкополосных станах.

Ранее была сделана попытка выбора формул для расчета составляющих температурного баланса по критерию принадлежности клетки к черновой или чистовой группе клетей стана [2].

Продолжая работу в данном направлении, было решено отказаться от выбора формулы по критерию принадлежности клетки к группе клетей и найти другой критерий выбора формулы.

Главная идея нашего исследования заключалась в следующем:

1. Истинное значение любой составляющей температурного баланса есть среднее значение, полученное по всем рассмотренным нами зависимостям для расчета данной составляющей.

2. Для каждой составляющей температурного баланса можно найти существенный фактор технологического процесса, относительно которого изменчивость составляющей температуры выражена

наиболее отчетливо.

3. Наилучшей формулой для расчета составляющей температурного баланса в некотором диапазоне варьирования существенного фактора является та, которая в данном диапазоне дает наименьшее отклонение расчетного отклонения от среднего (табл. 1).

Расчеты выполнялись для полос толщиной 4–16 мм и шириной 1000–1700 мм из низколегированных марок сталей 09ГСФ, 13Г1С-У, 17Г1С-У, 12ГСБ, Х42, 10Г2ФБ.

Их влияние в качестве примера показано на рис. 1, 2.

Анализ построенных графиков показал, что во всех случаях зависимость имеет не более чем один максимум. Следовательно, во всех случаях допустимо в качестве аппроксимации рассматривать полином второй степени, а существенным признать тот фактор, по которому аппроксимация дает наибольший R². Выбранные факторы приведены в табл. 2.

Таким образом, получаем, что для излучения и конвекции существенным является фактор τ/h, при контакте с рабочими валками решающим оказался фактор формы очага деформации, при пластической деформации – единичные обжатия.

Таблица 1
Факторы, влияющие на значения изменения температуры

Δt_e	Δt_r	Δt_R	Δt_η
$t_{но}$	$t_{но}$	$T_{П-В}$	P_{cp}
$\frac{\tau}{h}$	$\frac{\tau}{h}$	$\frac{l_x}{h_{cp}}$	$\frac{l_x}{h_{cp}}$
	$\frac{V^{0,8}}{h^{0,2}}$	$V \cdot h_1$	$\frac{h_0}{h_1}$

Таблица 2
Существенные факторы

Δt_e	Δt_r	Δt_R	Δt_η
$\frac{\tau}{h}$	$\frac{\tau}{h}$	$\frac{l_x}{h_{cp}}$	$\frac{h_0}{h_1}$