

The computer calculations of alternate distribution of temperatures and stresses in crystallizing round ingot with diameter 300 mm of low-carbon steel 20 are presented. There is determined the character of voltage excursion in secondary cooling zone along the length of ingot of circular section and in different cross-sections. The possibility of occurrence of asymmetry of longitudinal stresses in cross-section of ingot is theoretically shown.

А. Н. ЧИЧКО, БНТУ, Н. В. АНДРИАНОВ, А. В. ДЕМИН, РУП «БМЗ»

УДК 519:669.27

ЧИСЛЕННЫЙ ПОСЛОЙНЫЙ КОМПЬЮТЕРНЫЙ АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ЗАГОТОВОК КРУГЛОГО СЕЧЕНИЯ

Известно, что при получении заготовок размером 250x300, 300x400 мм методом непрерывного литья формируются значительные температурные напряжения, которые влияют на качество получаемой заготовки. Причина формирования этих напряжений на углах связана с неравномерным водяным охлаждением при перемещении слитка от кристаллизатора в зону тянущих роликов. Уменьшение «угловой» структуры поперечного сечения за счет перехода к круглому сечению слитка изменяет процесс формирования термонапряженного состояния и влияет на качество получаемой заготовки. Особенно актуальна эта задача в связи с разворачивающейся на РУП «БМЗ» подготовкой производства трубных заготовок из низкоуглеродистых марок сталей.

Целью настоящей статьи является численное моделирование динамики развития напряжений в

поперечных сечениях слитка круглого сечения по его длине.

Для расчета напряжений использовали математические модели и метод, изложенный в [1–5]. Принимали, что изгиб слитка начинается при выходе из кристаллизатора (приблизительно 1 м от начала), а разгиб слитка проходит на расстоянии 17 м от начала слитка. При этом радиус изгиба равен 10 м.

На рис. 1 показано распределение напряжений в поперечном сечении $y=0,8$ м круглого слитка (сталь 20) диаметром 300 мм для различных значений координаты Z , а на рис. 2 – поверхностное распределение напряжений в этом же поперечном сечении. Из рисунков видно, что на краях слитка развиваются сжимающие и растягивающие напряжения, которые могут достигать 20–25 МПа. В центральной части слитка напряжения близки к нулю, что соответствует физике технологического процесса.

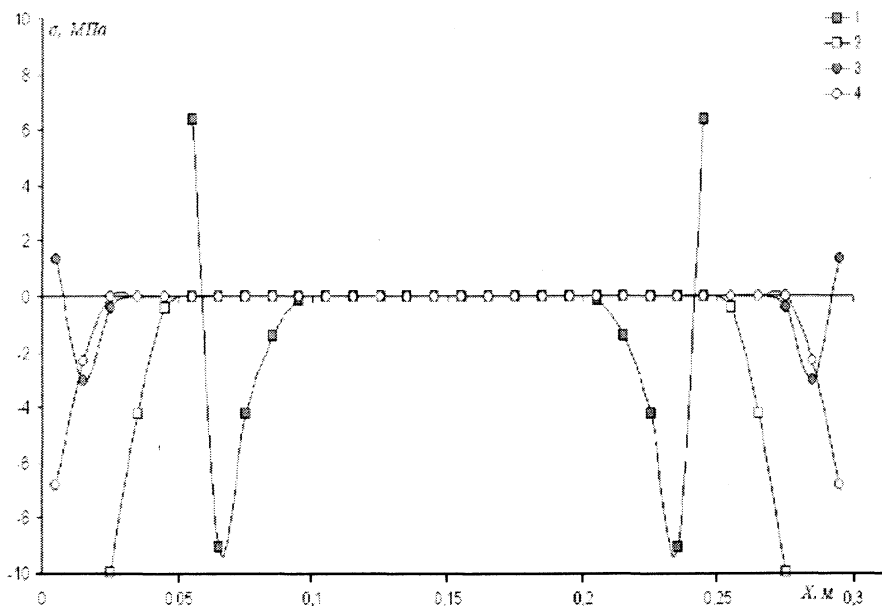


Рис. 1. Распределение напряжений в поперечном сечении $y=0,8$ м круглого слитка (сталь 20) диаметром 300 мм по координате X для различных значений координаты Z (интервал изгиба слитка 1–17 м): 1 – $Z=0,035$ м; 2 – 0,075; 3 – 0,115; 4 – 0,155 м

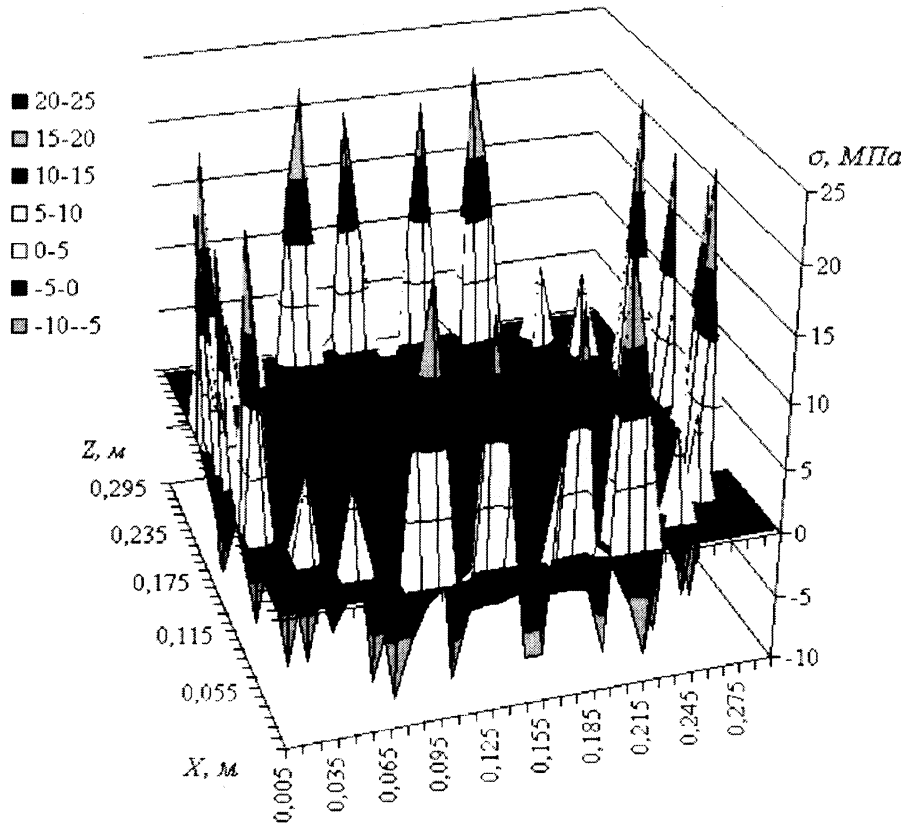


Рис. 2. Поверхностное распределение напряжений в поперечном сечении $y=0,8$ м круглого слитка (сталь 20) диаметром 300 мм (интервал изгиба слитка 1–17 м)

Дальнейший ход слитка в область зоны вторичного охлаждения изменяет картину напряжений, увеличивая последние до 90–100 МПа. На рис. 3 представлено распределение напряжений в поперечном сечении $y=2,76$ м круглого слитка (сталь 20) диаметром 300 мм для различных значений координаты Z , а на рис. 4 – поверхно-

стное распределение напряжений в этом же поперечном сечении. Осцилляция напряжений в этом сечении слитка выражена более ярко, чем в предыдущем случае (см. рис. 2). Это связано с тем, что напряжения, возникающие в кристаллизаторе, накладываются на напряжения, возникающие в зоне вторичного охлаждения.

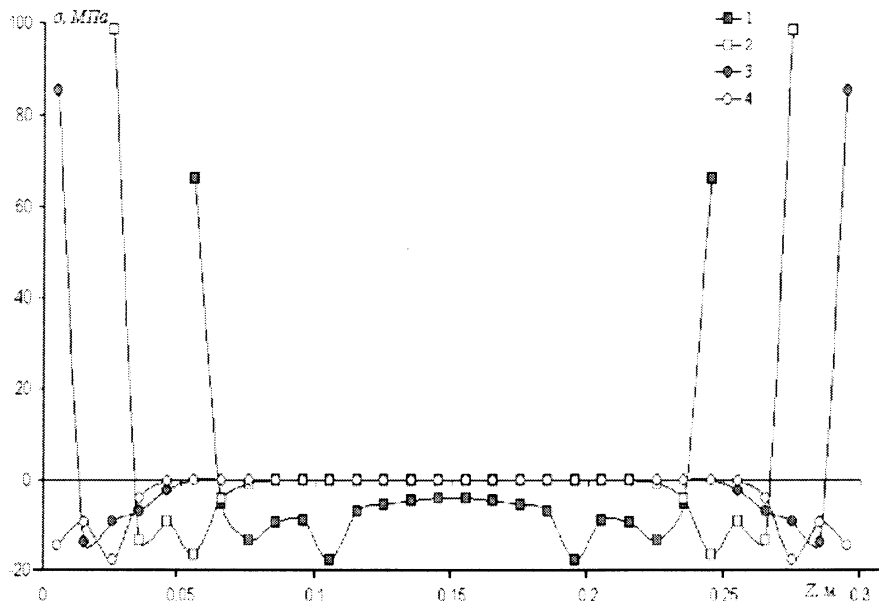


Рис. 3. Распределение напряжений в поперечном сечении $y=2,76$ м круглого слитка (сталь 20) диаметром 300 мм по координате X для различных значений координаты Z (интервал изгиба слитка 1–17 м): 1 – $Z=0,035$ м; 2 – 0,075; 3 – 0,115; 4 – 0,155 м

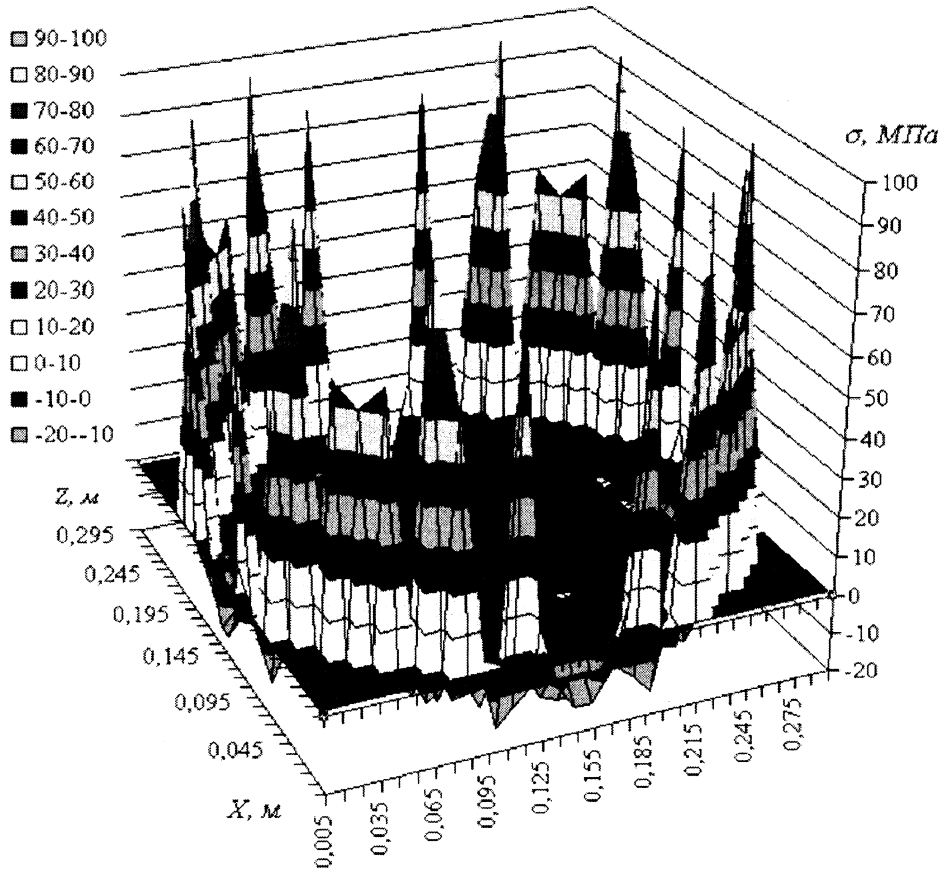


Рис. 4. Поверхностное распределение напряжений в поперечном сечении $y=2,76$ м круглого слитка (сталь 20) диаметром 300 мм (интервал изгиба слитка 1–17 м)

На рис. 5 показано распределение напряжений в поперечном сечении $y=15$ м круглого слитка (сталь 20) диаметром 300 мм для различных значений координаты Z , а на рис. 6 – поверхностное распределение напряжений в этом же поперечном сечении. Сечение слитка находится вблизи изгиба. Как видно из рисунков, в центре

круглого сечения растягивающие напряжения достигают 30–40 МПа. В то же время на этом участке слитка сжимающие напряжения достигают 30–40 МПа. На рисунках можно видеть как бы многоярусную картину изменения напряжений в поперечном сечении, увеличивающуюся к центру слитка (рис. 6).

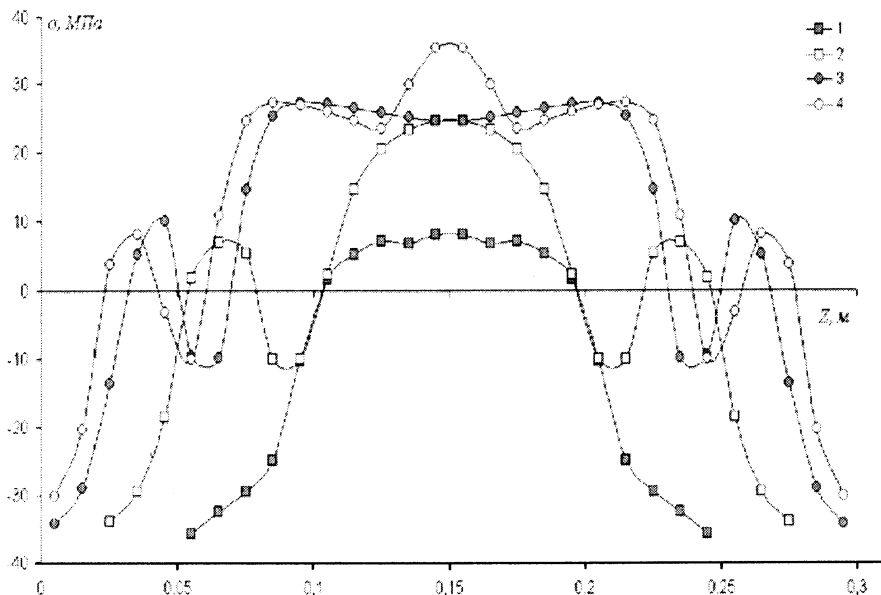


Рис. 5. Распределение напряжений в поперечном сечении $y=15$ м круглого слитка (сталь 20) диаметром 300 мм по координате X для различных значений координаты Z (интервал изгиба слитка 1–17 м): 1 – $Z=0,035$ м; 2 – 0,075; 3 – 0,115; 4 – 0,155 м

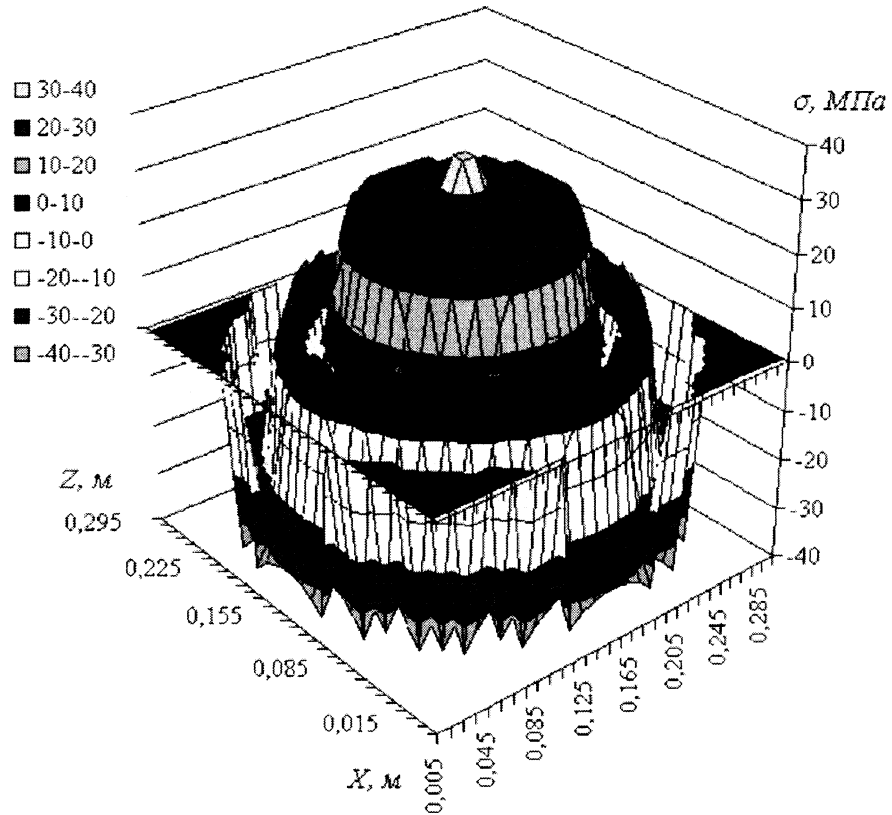


Рис. 6. Поверхностное распределение напряжений в поперечном сечении $y=15$ м круглого слитка (сталь 20) диаметром 300 мм (интервал изгиба слитка 1–17 м)

На рис. 7 представлено распределение напряжений в поперечном сечении $y=17,2$ м круглого слитка (сталь 20) диаметром 300 мм для различных значений координаты Z , а на рис. 8 – соответствующее поверхностное распределение напряжений в этом же поперечном сечении. Как

видно из рисунков, при прохождении изгиба слитком в сечении $y=17,2$ м наблюдается асимметричная картина изменения напряжений. При этом максимальный уровень растягивающих напряжений достигает 90–110 МПа, а сжимающие напряжения – 50–70 МПа.

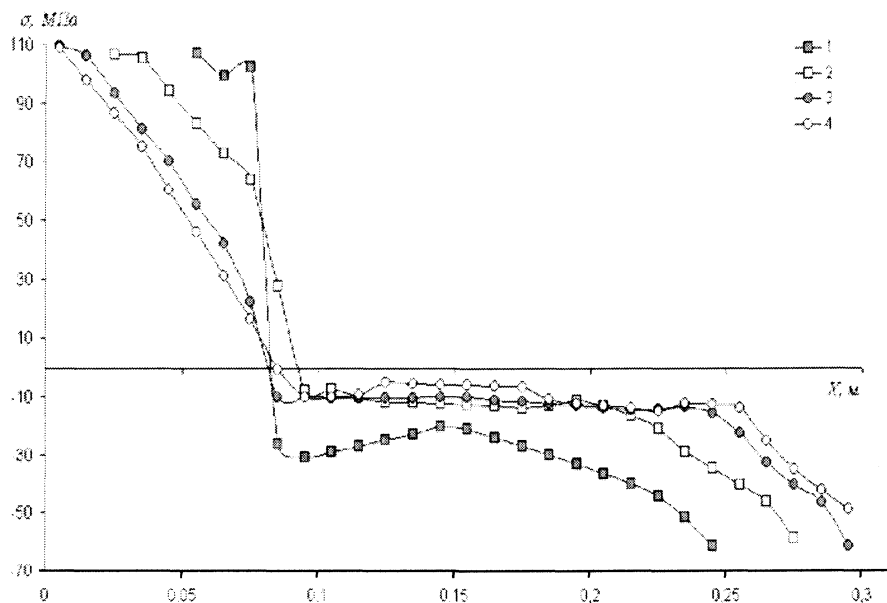


Рис. 7. Распределение напряжений в поперечном сечении $y=17,2$ м круглого слитка (сталь 20) диаметром 300 мм по координате X для различных значений координаты Z (интервал изгиба слитка 1–17 м): 1 – $Z=0,035$ м; 2 – 0,075; 3 – 0,115; 4 – 0,155 м

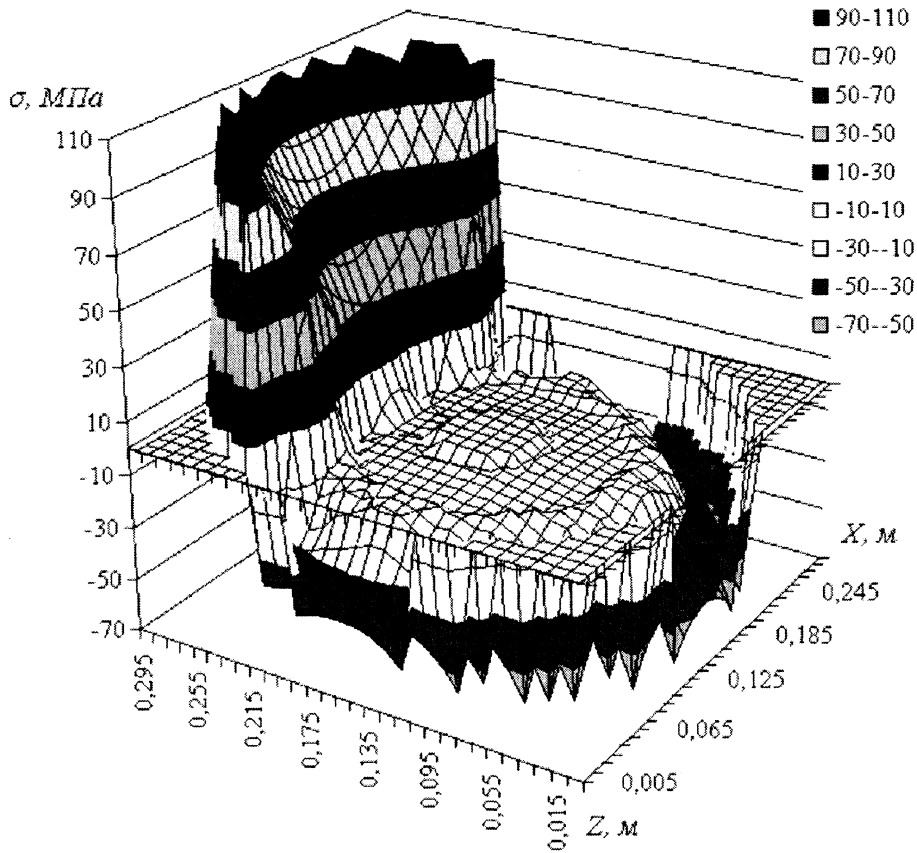


Рис. 8. Поверхностное распределение напряжений в поперечном сечении $y=17,2$ м круглого слитка (сталь 20) диаметром 300 мм (интервал изгиба слитка 1–17 м)

На рис. 9 показано распределение напряжений в поперечном сечении $y=18,9$ м круглого слитка (сталь 20) диаметром 300 мм для различных значений координаты Z , а на рис. 10 – поверхностное распределение напряжений в этом же поперечном сечении. Как видно из рисунков, при

дальнейшем прохождении изгиба слитком в сечении $y=18,9$ м наблюдается некоторое снижение изменения напряжений. При этом максимальный уровень растягивающих напряжений снижается до 90 МПа. Значительная часть напряжений концентрируется на краю изгибающегося слитка.

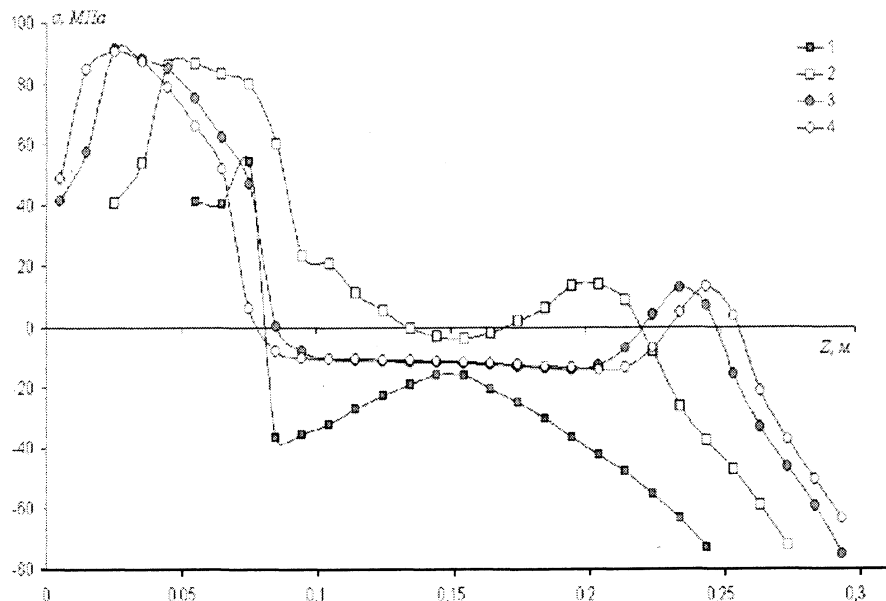


Рис. 9. Распределение напряжений в поперечном сечении $y=18,9$ м круглого слитка (сталь 20) диаметром 300 мм по координате X для различных значений координаты Z (интервал изгиба слитка 1–17 м): 1 – $Z=0,035$ м; 2 – 0,075; 3 – 0,115; 4 – 0,155 м

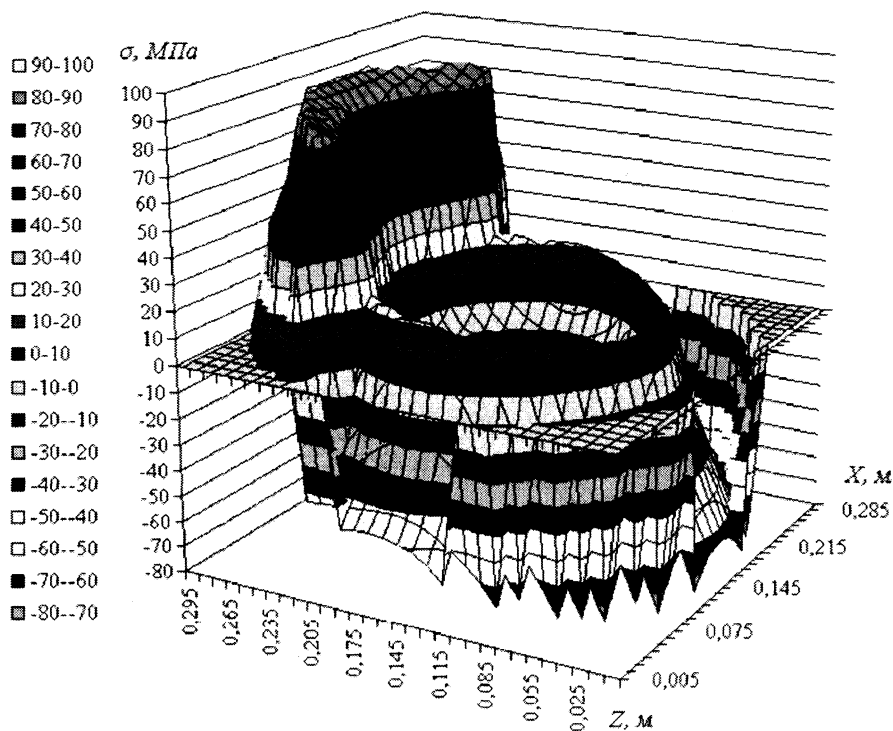


Рис. 10. Поверхностное распределение напряжений в поперечном сечении $y=18,9$ м круглого слитка (сталь 20) диаметром 300 мм (интервал изгиба слитка 1–17 м)

Анализируя полученные данные, следует отметить, что уровень возникающих в круглой заготовке напряжений в целом невысок при заданных теплофизических характеристиках. Поэтому в первом приближении принятые теплофизические характеристики ЗВО могут быть использованы для получения круглой заготовки на МНЛЗ-3 с учетом реконструкции по радиусу.

Таким образом, проведенные компьютерные исследования показали, что при круглофакельном форсуночном охлаждении в слитке круглого сечения наблюдается сложнейшая картина изменения напряжений как по длине, так и в поперечном сечении круглого слитка. Величина напряжений может меняться в широком интервале и достигать в отдельных точках значений порядка 110 МПа. Однако это не означает, что обязательно в этой точке могут возникнуть трещины, так как вблизи этой точки может находиться жидкий металл, который «залечивает» трещину. С учетом изгиба в различных точках слитка выделенного поперечного сечения может наблюдаться как симметрия, так и асимметрия сжимающих и растягивающих напряжений. По длине слитка наблюдается переход растягивающих напряжений в сжимающие и, наоборот, в зависимости от

пространственного расположения точки. Это еще раз свидетельствует о том, что игнорирование в расчетах напряжений пространственных размеров слитка, которое иногда применяется в двух- и одномерных моделях, скорее, вуалирует истинную картину полей напряженного состояния слитка. Поэтому глубокий анализ напряжений слитка невозможен без решения трехмерных задач термонапряженного состояния.

Литература

1. Чичко А.Н., Кукуй Д.М., Андрианов Н.В., Яцкевич Ю.В., Чичко О.И. Моделирование влияния охлаждаемых и неохлаждаемых роликов на температуры и напряжения поверхности промышленного слитка в зоне вторичного охлаждения // *Литье и металлургия*. 2003. №3. С.131–138.
2. Шмрга Л. Затвердевание и кристаллизация стальных слитков / Под ред. В.И.Кашина. М.: Металлургия, 1985.
3. Евтеев Д.П., Колыбалов И.Н. Непрерывное литье стали. М.: Металлургия, 1984.
4. Чичко А.Н., Яцкевич Ю.В., Соболев В.Ф., Чичко О.И. Компьютерное моделирование в задачах термоупругости сложных пространственных деталей // *Изв. вузов. Энергетика*. 2003. № 3. С. 68–74.
5. Чичко А.Н., Кукуй Д.М., Соболев В.Ф. и др. Компьютерная система «ПроНПС» и трехмерное моделирование распределения температур, напряжений и углерода в процессе непрерывной разливки стали // *Литье и металлургия*. 2002. №3. С. 21–27.