

УДК 621.771

А.А. Уманский, В.Н. Кадыков, Ю.А. Мартьянов

Сибирский государственный индустриальный университет

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛА ПРИ СОРТОВОЙ ПРОКАТКЕ

Одной из наиболее трудных задач в теории прокатки является определение напряженно-деформированного состояния металла при деформации в калибрах, что объясняется сложностью математического аппарата, необходимого для описания процессов деформации металла в калибрах с учетом всего многообразия действующих факторов. Поскольку показатели напряженно-деформированного состояния металла характеризуют склонность деформируемых заготовок к образованию и развитию дефектов, то расчет таких показателей важен при проектировании калибровок валков и режимов прокатки.

Решению указанной проблемы в значительной степени способствуют появившиеся в последние годы специализированные программные комплексы, среди которых одним из наиболее известных является DEFORM 3D. В основе программного комплекса DEFORM 3D – применение метода конечных элементов, суть которого заключается в разбиении анализируемой области на конечное количество подобластей (элементов). Для каждой из подобластей выбирается вид аппроксимирующей функции, при этом вне своего элемента аппроксимирующая функция равна нулю. Значения функций на границах элементов (узлах) являются решением задачи и заранее неизвестны. Так как каждый из элементов связан с ограниченным количеством соседних, то получаемая при решении система линейных алгебраических уравнений имеет разреженный вид.

Одной из основных задач при использовании конечно-элементного анализа является построение сетки конечного элемента. Автоматический сеточный генератор DEFORM 3D строит оптимизированную конечно-элементную сетку, сгущая ее в наиболее критичных зонах, что повышает наглядность представления информации о напряженно-деформированном состоянии металла при прокатке.

При использовании программного комплекса DEFORM 3D показателем, характеризующим степень использования запаса пластичности металла после деформации, и соответственно, вероятность образования и разви-

тия поверхностных дефектов, является критерий Кокрофта-Лэтэма.

Степень использования запаса пластичности определяется из выражения [1]

$$\psi = \frac{\Lambda}{\Lambda_p}$$

где Λ – накопленная степень деформации сдвига; Λ_p – предельное значение степени деформации сдвига к моменту разрушения.

Критерий Кокрофта-Лэтэма определяется по формуле

$$D = \int_0^{\bar{\varepsilon}} \frac{\sigma^*}{\bar{\sigma}} d\bar{\varepsilon},$$

где $\bar{\varepsilon}$ – накопленная пластическая деформация; $d\bar{\varepsilon}$ – приращение накопленной деформации; σ^* – максимальное главное растягивающее напряжение; $\bar{\sigma}$ – интенсивность напряжений.

Анализ литературных данных [2 – 5] показывает, что существует опыт успешного использования программного комплекса DEFORM 3D для моделирования прокатки в калибрах различной формы.

В настоящей работе с целью определения закономерностей распределения степени использования запаса пластичности по сечению раската при различных условиях деформации проведено моделирование прокатки заготовок в сортовых калибрах. При выборе формы поперечного сечения заготовок и формы калибров исходили из возможности анализа различных вариантов: с подобием или без подобия формы исходного подката и калибров. Размеры калибров выбирали, исходя из степени заполнения калибров 97 % при прокатке со степенью деформации 25 %.

Моделирование проведено для низкоуглеродистой стали с содержанием углерода 0,09 %; температуру прокатки принимали 1150 °С, ко-

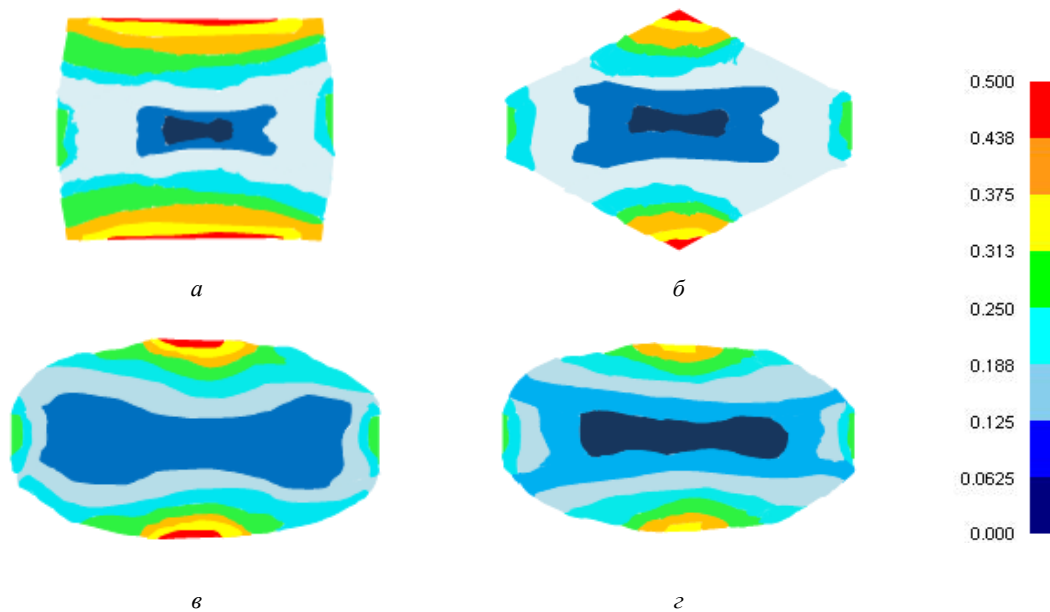


Рис. 1. Распределение значений критерия Кокрофта-Лэтэма по сечению раската в зависимости от формы калибра: *а, б и в* – при прокатке квадратной заготовки в ящичном, ромбическом и овальном калибрах; *з* – при прокатке овального подката в овальном калибре

эффицент трения 0,2. Использовали вязкоупругопластическую модель Джонсона-Кука, в которой предел текучести определяется по формуле

$$\sigma_T = \left(\sigma_{T_0} + A \varepsilon^n \right) \left(1 + C \ln \left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0} \right) \right) \left(1 + \left(\frac{T - T_0}{T_{пл} - T_0} \right)^m \right),$$

где σ_{T_0} – предел текучести при комнатной температуре; A – чувствительность к деформации; ε – эффективная пластическая деформация; n – параметр, характеризующий влияние деформационного упрочнения; C – чувствительность к скорости деформации; $\dot{\varepsilon}$ – скорость изменения эффективной пластической деформации; $\dot{\varepsilon}_0$ – референсная скорость деформации; T – температура заготовки; T_0 – референсная температура; $T_{пл}$ – температура плавления металла; m – параметр, описывающий температурное разупрочнение.

Значения параметров модели для рассматриваемой стали составили: $\sigma_{T_0} = 50,785$ МПа, $A = 39,903$, $C = 0,022$, $D = 1$, $n = 0,36$, $m = 1$.

Получена картина распределения критерия Кокрофта-Лэтэма по сечению раската (рис. 1); наибольшее использование запаса пластичности наблюдается в поверхностных слоях в центральной части заготовки. Этот вывод можно распространить на все моделируемые варианты прокатки.

Что касается влияния степени подобия формы исходного подката и формы калибра на степень использования запаса пластичности, то можно отметить, что наименьшие значения критерия Кокрофта-Лэтэма как в приповерхностных слоях, так и в среднем по сечению раската получены для случая прокатки овального подката в овальном калибре. Наибольшие же значения критерия Кокрофта-Лэтэма зафиксированы для случая прокатки квадратной заготовки в овальном калибре. Значения критерия Кокрофта-Лэтэма для различных форм калибра и поперечного сечения исходного подката приведены ниже:

Форма поперечного сечения исходного подката	Форма калибра	Значение критерия Кокрофта-Лэтэма	
		максимальное по сечению	среднее по сечению
Квадрат	Ромбический	0,39	0,10
Квадрат	Ящичный	0,42	0,12
Квадрат	Овальный	0,45	0,13
Овал	Овальный	0,36	0,08

Таким образом, наименьшее использование запаса пластичности имеет место при подобии формы заготовки и калибра.

Для более полного изучения закономерностей формирования зон с различной степенью использования запаса пластичности металла при прокатке промоделировано течение металла в различных зонах по ширине калибров. При моделировании на верхнюю грань заготовок наносили точки-маркеры, расположенные по ширине заготовки на равном (3,0 мм) расстоянии друг от друга в центральной по длине зоне калибра (на равном расстоянии от входного и выходного концов раската) (рис. 2).

Полученные результаты позволяют констатировать, что в центральной зоне калибра имеет место только вертикальное перемещение металла в направлении обжатия (величина горизонтального смещения равна нулю); в боковых зонах поверхностные слои металла одновременно перемещаются в направлении обжатия и в горизонтальной плоскости по направлению от центра калибра к его периферии (рис. 3). Также можно сделать вывод, что ширина зоны, где имеет место перемещение металла только в вертикальном направлении, в значительной степени зависит от формы калибра. Так, если при прокатке квадратной заготовки в ящичном калибре протяженность такой зоны составляет около 20 % от ширины калибра, то при деформации квадратной заготовки в ромбическом и овальном калибрах только вертикальное перемещение металла фактически имеет место лишь в вершинах калибров.

Подтверждением правильности полученных результатов может служить их соответствие результатам Ю.В. Зильберга с соавторами [6]: при проведении промышленных экспериментов зафиксировано значительное горизонтальное смещение металла на равном расстоянии от оси калибра и боковых граней и отсутствие горизонтального перемещения в вершине калибра.

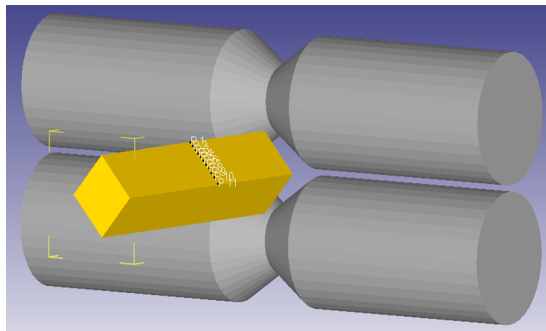


Рис. 2. Схема нанесения точек при моделировании процесса прокатки в интерфейсе программы DEFORM 3D

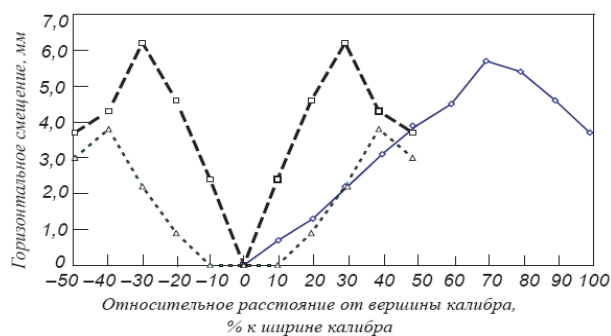


Рис. 3. Схема течения поверхностных слоев металла при прокатке квадратной заготовки в калибрах различной формы:

◇, □ и Δ – ромбический, ящичный и овальный калибр

При сопоставлении результатов математического моделирования течения металла с полученной схемой распределения критерия Кокрофта-Лэтэма становится очевидным, что наибольшее использование запаса пластичности происходит в тех зонах калибра, где имеет место только вертикальное перемещение металла при деформации. При одновременном течении металла в направлении обжатия и в горизонтальном направлении значения критерия Кокрофта-Лэтэма меньше, что способствует лучшей выработке поверхностных дефектов.

На основании полученных результатов разработана новая калибровка валков черновой группы непрерывного мелкосортного стана 250-2 ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК». При разработке новой калибровки исходили из увеличения степени подобия формы поперечного сечения исходного подката и формы калибра: чередующиеся ящичные и шестигранные калибры заменены на ребровой овальный и овальный калибры соответственно. Внедрение усовершенствованной калибровки в производство позволило улучшить качество поверхности сортового проката, увеличение выхода годного при производстве конструкционного проката по ГОСТ 10702 – 78 составило 3 %.

Выводы. Проведено моделирование процесса деформации металла в калибрах с использованием специализированного программного комплекса DEFORM 3D. Установлено, что наибольшее использование запаса пластичности металла создается в центральной зоне сортовых калибров, где имеет место только вертикальное перемещение металла в направлении обжатия. В боковых зонах сортовых калибров поверхностные слои металла одновременно перемещаются в направлении обжатия и в горизонтальной плоскости по направлению от центра калибра к его периферии, что формирует более благоприятные условия для выработки поверхностных дефектов заготовки.

В целом степень использования запаса пластичности металла в процессе прокатки определяется степенью подобию формы поперечного сечения исходной заготовки и калибра.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Колмогоров В.Л. Механика обработки металлов давлением. – М.: Металлургия, 1986. – 688 с.
2. Кинзин Д.И., Рычков С.С. Оценка эффективности калибровки сортовых профилей на основе программного комплекса Deform 3d // Моделирование и развитие процессов ОМД. 2011. № 1. С. 92 – 95.
3. Шолов В.А., Литвинов Р.А., Шварц Д.Л. Моделирование процесса прокатки рельсов в универсальных калибрах // Производство проката. 2009. № 8. С. 20 – 25.
4. Тинигин А.Н. Моделирование процесса прокатки высоких горячих полос, подаваемых встык в очаг деформации // Сталь. 2012. № 7. С. 31 – 34.
5. Салганик В.М., Песин А.М., Чикишев Д.Н., Пустовойтов Д.О. Моделирование поведения поперечных угловых трещин сляба при прокатке в горизонтальных валках // Изв. вуз. Черная металлургия. 2010. № 3. С. 22 – 24.
6. Зильберг Ю.В., Ревякин С.В. Формоизменение поверхностных дефектов при прокатке в простых калибрах // Металлургическая и горнорудная промышленность. 1996. № 8. С. 23 – 25.

© 2013 г. А.А. Уманский, В.Н. Кадыков,
Ю.А. Мартынов
Поступила 9 сентября 2013 г.

УДК 538.913

Ю.Ф. Иванов^{1,2}, Ю.А. Абзаев³, О.С. Толкачев², С.Ю. Филимонов², С.В. Коновалов⁴

¹Институт сильноточной электроники СО РАН (г. Томск)

²Национальный исследовательский Томский политехнический университет

³Томский государственный архитектурно-строительный университет

⁴Сибирский государственный индустриальный университет

ПОРОШКИ СТАБИЛИЗИРОВАННОГО ИТТРИЕМ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ: АНАЛИЗ ФАЗОВОГО И ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВОВ, ДЕФЕКТНОЙ СУБСТРУКТУРЫ*

Структура и свойства конструкционной керамики существенным образом зависят от состояния исходных компонентов (фазового и элементного составов, дисперсности, морфологии исходных порошков), метода их получения, компактирования и последующего спекания [1]. Одним из перспективных направлений производства конструкционной керамики является метод сухого одноосного прессования нанопорошков при одновременном воздействии мощных ультразвуковых колебаний, способствующих снижению пристеночного и межчастичного трения, что позволяет достигать более плотной упаковки частиц порошка

и, соответственно, более высокой плотности прессовок любой геометрии [2]. В процессе прессования керамических ультрадисперсных порошков под действием ультразвуковых колебаний можно влиять на дисперсность, морфологию, упругопластические свойства, плотность прессовки, однородность ее микроструктуры [3]. Однако до сих пор открытым остается вопрос влияния мощного ультразвукового воздействия на фазовый состав, параметры кристаллической структуры и дефектность метастабильных наночастиц порошка, относящихся к классу полиморфных материалов.

Цель настоящей работы – анализ фазового и элементного составов, дефектной субструктуры порошков стабилизированного иттрием

* Работа выполнена в рамках государственного задания «Наука».