

верхность волоки и сердечника, однако из формулы (11) следует, что влияние коэффициентов трения μ_1 и μ_2 на изменение угла α различно. Более интенсивные влияния на изменение угла α оказывает коэффициент трения материала плакирующей оболочки о рабочую поверхность матрицы.

Полученные результаты могут быть использованы при проектировании волок и разработке технологических процессов волочения биметаллической проволоки, обеспечивающие устойчивый процесс деформации плакирующей оболочки.

Список литературы

1. Внеконтактная деформация при волочении биметаллической проволоки с мягким покрытием. Сообщение 1 / Ю.И. Коковihin, М.Г. Поляков, И.Ш. Туктамышев, А.А. Кальченко // Изв. вузов. Черная металлургия. 1976. №2. С. 80–83.
2. Внеконтактная деформация при волочении биметаллической проволоки с мягким покрытием. Сообщение 2 / Ю.И. Коковihin, М.Г. Поляков, И.Ш. Туктамышев, А.А. Кальченко // Изв. вузов. Черная металлургия. 1976. №2. С. 73–75.
3. Шумилин И.М. Условия устойчивого волочения биметаллической проволоки // Сталь. 1977. № 12. С. 1124–1125.
4. Огарков Н.Н., Налимова М.В. Определение условия обратного течения металла при волочении проволоки с покрытием // Моделирование и развитие технологических параметров обработки металлов давлением. 1988. С. 104–111.

Bibliography

1. Vnekontaktnaâ volocheniî bimetalličeskoj wire deformation when soft coated. Message 1/Y.I. Kokovihin, M.G. Poles, I. Sh. Tuktamyšev, A.A. Kal'chenko // News institutions. The steel industry. 1976. №2. P. 80–83.
2. Vnekontaktnaâ volocheniî bimetalličeskoj wire deformation when soft coated. Message 2/Y.I. Kokovihin, M.G. Poles, I.Sh. Tuktamyšev, A.A. Kal'chenko // News institutions. The steel industry. 1976. №2. P. 73–75.
3. Šumilin I.M. Conditions sustainable dragging bimetalličeskoj wire//Steel. №12. 1977. P. 1124–1125
4. Ogarkov N.N., Nalimova M.V. Definition conditions reverse metal volocheniî wire coated // Modelling and the development of technological metal processing options. 1988. P.104–111
5. Malinin N.N. Applied the theory of plasticity and creep. 2nd ed., pererab. And dop. «машиностроение»М., «engineering», 1975, 400 p.s il.
6. Arkulis G.E., Dorogobid V.G. Sushko G.E. Plasticity theory. М., 352: Metallurgy, 1987, 3–52 p.
7. The rheological model as the primary element modelling processing metal / Smimov O.M, Tulupov S.A., and Cepin M.A. // Journal of MGТУ. 2008. Vol. №2. P. 45–52.
8. Thomsen E., Young Ch, Kobaâši Sh. Najafzade mechanics plastic deformations when processing metals «engineering», 1968, 504 page.

УДК 621.771.06-589.4

Раскатов Е.Ю.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛА В ОЧАГЕ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ПИЛИГРИМОВОЙ ПРОКАТКЕ ТРУБ

Поставлена задача и представлена математическая модель процесса прокатки труб на пилигримовых станах. Определены силовые параметры процесса пилигримовой прокатки труб.

Ключевые слова: пилигримовая прокатка, напряжения, деформации, калибровка валков, моделирование, усилие прокатки, расчетная модель.

The problem is set and a mathematical model of the process of pilger rolling tubes is represented. The force parameters of pilger rolling tubes are identified.

Key words: pilger rolling, stress, working, roll grooving, modeling, roll force, computational model

Одним из основных способов производства бесшовных горячекатаных труб большого и среднего диаметров с разными толщинами стенок является прокатка на установках с пилигримовыми станами. Использование непрерывнолитых заготовок круглого сечения обеспечило значительные преимущества пилигримового способа производства бесшовных труб. В связи с освоением и расширением сортамента труб из легированных и труднодеформируемых марок сталей и сплавов и повышением требований к их качеству необходимо дальнейшее совершенствование технологического процесса производства труб на трубопрокатных установках с пилигримовыми станами для прокатки тонкостенных и толстостенных труб специального назначения и внедрение их в производство.

Основной проблемой, возникающей при пилигримовой прокатке непрерывнолитых заготовок, является обеспечение благоприятной схемы напряженно-деформированного состояния металла в очаге де-

формации, получение высоких механических свойств проката, однородной и мелкозернистой структуры металла, уменьшение поверхностных и внутренних дефектов. В связи с этим, важно определить напряженно-деформированное состояние непрерывнолитого металла в очаге деформации при пилигримовой прокатке, что позволит оценить течение и степень проработки литой структуры металла и возможность раскрытия поверхностных дефектов, то есть прогнозировать качество бесшовных труб. Это позволит также определить закономерности распределения тангенциальных и радиальных напряжений, возникающих в валках пилигримового стана от усилия прокатки.

Пилигримовая прокатка представляет собой периодический процесс, в котором сочетаются элементыковки в начальной стадии процесса и продольной прокатки, и предназначена для производства труб с заданной толщиной стенки. При пилигримовой прокатке цикл деформации гильзы в трубу осуществляет-

ся за один оборот валков с переменным радиусом калибра, причем направление вращения валков противоположно направлению подачи гильзы [1].

На рис. 1 показан валок пилигримового стана, где Θ_B , Θ_P , Θ_V и Θ_X – соответственно центральные углы бойка (гребня), полирующего участка, выпуска и холостого участка.

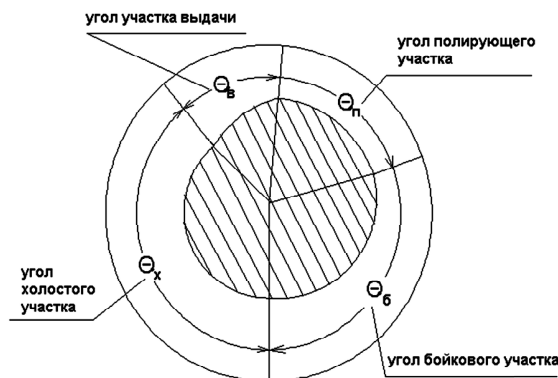


Рис. 1. Вид пилигримового валка

Моделирование процесса прокатки труб в пилигримовом стане выполнялось с использованием программного продукта ANSYS v10.0 [2]. Расчет выполнялся в объемной постановке. Упор сделан на определении напряженно-деформированного состояния и характер течения металла на первом участке, где бойковой частью валка осуществляется интенсивная деформация гильзы по диаметру и толщине, и полирующем участке с постоянным радиусом по дну калибра, на котором раскатывается объем металла, смещенного на первом участке деформации.

Материал трубы в очаге деформации испытывает упругопластические деформации, которые достигают конечных значений. Поскольку их уровень высок, то при описании модели материала трубы в очаге деформации учтена не только физическая, но и геометрическая нелинейность. Принятие в качестве модели для очага деформации упругопластического поведения, а не жесткопластического, позволяет учесть при моделировании историю нагружения. Кроме исследования очага деформации определялось напряженное состояние валков от действия усилия прокатки. Для валков принимаем, что материал, из которого они изготовлены, подвержен только упругим деформациям и напряжениям, подчиняющимся закону Гука.

При исследовании напряженно-деформированного состояния трубы при прокатке пренебрегли инерционными и массовыми силами, деформируемый металл трубы считаем несжимаемым. При записи уравнений состояния использован случай простого нагружения. Для материала трубы принята упругопластическая модель Прандтля-Рейса. Так как задача сложная, то приняты изотермические условия деформации, то есть разогрев деформируемого металла и валков не учитываются.

Сопrotивление деформации зависит от степени и скорости деформации, а также от температуры прокатываемого металла. Принимается,

что трение на всей поверхности контакта валков с трубой подчиняется закону сухого трения Кулона, причем коэффициент трения постоянен на всей контактной поверхности.

Рассматривался процесс пилигримовой прокатки труб из стали 14ХГС диаметром 325 мм из гильзы диаметром 500 мм, диаметр дорна равен 300 мм. Скорость вращения валков составляла 45 об/мин.

Моделирование процесса пилигримовой прокатки проводим для трех калибровок валков согласно таблице.

Величина подачи для каждой калибровки валков составляла 10, 20 и 30 мм. Температура прокатываемого металла гильзы принята постоянной и равной 1050°C.

Модуль упругости определен по зависимости (1), приведенной в работе [3]:

$$E = -4.566 \cdot 10^5 + 160 \cdot T + \frac{3.266 \cdot 10^8}{T}, \quad (1)$$

где E – модуль упругости материала, МПа; T – температура металла, °C.

N п/п	Центральные углы участков поперечного сечения валка, град.			
	Бойковый	Полирующий	Выпуск	Холостой
1	110	65	45	140
2	105	70	45	140
3	120	55	45	140

Одним из основных параметров при моделировании процесса пилигримовой прокатки труб является сопротивление пластической деформации, которое вычисляется по зависимости (2), приведенной в работе [4]:

$$\sigma_s = 288 \cdot U_i^{0.107} \cdot (\ln \varepsilon_i)^{1.45} \cdot e^{-0.00235 \cdot T}, \quad (2)$$

где σ_s – сопротивление пластической деформации, МПа; U_i – скорость деформации, 1/с; ε_i – степень деформации, %.

Зависимость сопротивления пластической деформации от степени деформации дана на рис. 2. Коэффициент трения между прокатываемым металлом и валками принят равным 0.34.

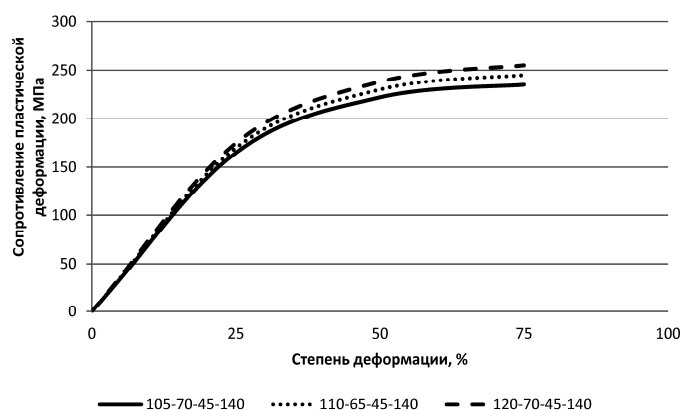


Рис. 2. Зависимость сопротивления пластической деформации при прокатке трубы в валках трёх калибров

На **рис. 3** изображена расчетная модель прокатываемой трубы с калибром валка перед прокаткой.

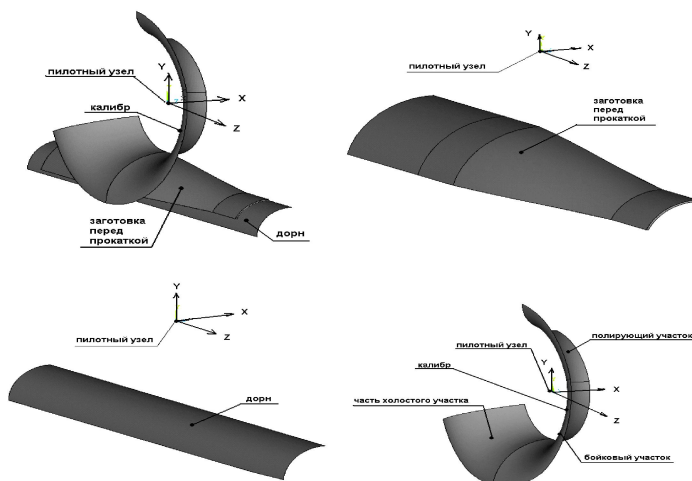


Рис. 3. Расчётная модель прокатываемой трубы в пилигримовых валках

В силу симметрии рассматривается четверть предельного сечения трубы с калибром валка. Учитывается деформация гильзы по трем направлениям на основе трехмерной объемной модели.

Конечно-элементная модель трубы и валков формировалась из трехмерных 20-узловых твердотельных элементов SOLID186, вид которых показан на **рис. 4**. На поверхностях контакта валков с гильзой размещены контактные элементы TARGE170 и CONTA174 [2]. Это элементы контакта типа «поверхность в поверхность», представляющие собой нелинейный анализ с возможностью учета больших деформаций, переменности контактного взаимодействия (смыкания-размыкания) и кулонова трения скольжения. Контакт представлен последовательным положением точек на одной поверхности относительно другой поверхности. Программа использует элементы контакта для отслеживания относительных положений контактируемых поверхностей. Для описания контакта и трения к узлам на контактирующих поверхностях прикладываются соответствующие силы [2].

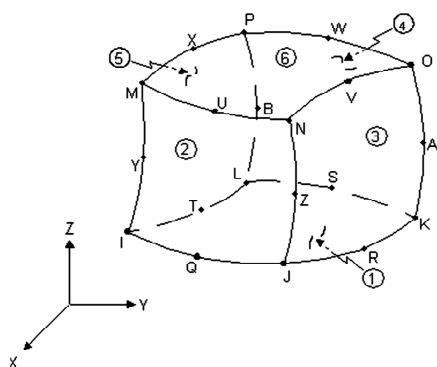


Рис. 4. 20-узловой конечный элемент, принятый для расчёта

В качестве кинематических граничных условий задавалось отсутствие нормальных перемещений по плоскостям симметрии гильзы и валков.

При пилигримовой прокатке труб передний конус валков (гребень) выполняет при деформации гильзы две функции: одна часть объема металла обжимается непосредственно бойком, а другая – смещается бойком в полирующий участок, где деформируется до размеров готовой трубы. Таким образом, при прокатке в каждый момент рабочий конус валков соприкасается с металлом не по всей поверхности очага деформации одновременно, а какой-то сравнительно небольшой частью (мгновенный очаг деформации).

Характер изменения усилия пилигримовой прокатки в зависимости от величины подачи показан на **рис. 5**. Из графика следует, что усилие пилигримовой прокатки существенно зависит от подачи гильзы в валки. Например, для калибровки валков 105-70-45-140 при увеличении подачи с 10 до 30 мм усилие пилигримовой прокатки возрастает от 10 до 14 МН. Причем наибольшая величина усилия имеет место в конце бойкового участка валка пилигримового стана, где происходит обжатие смещенного объема металла.

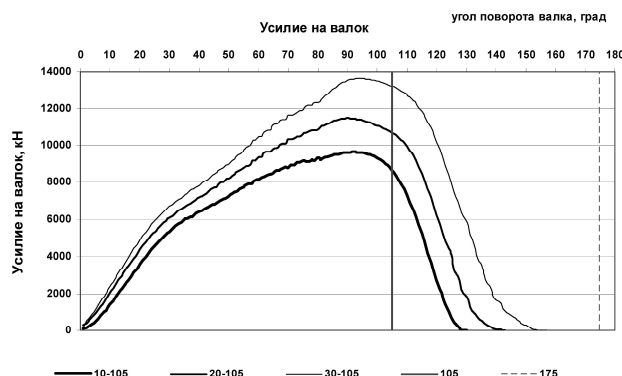


Рис. 5. Изменение усилий на валок

Заключение

Разработана математическая модель процесса прокатки стальных труб на пилигримовых станах. Определен уровень и характер изменения усилия прокатки в зависимости от величины подачи гильзы в валки пилигримового стана.

Список литературы

1. Данченко, В.Н. Технология трубного производства / В.Н. Данченко, А.П. Коликов, Б.А. Романцев, С.В. Самусев. М.: Интернет Инжиниринг, 2002. 640 с.
2. ANSYS. Structural Analysis Guide. URL: <http://www.cadferm.ru>.
3. Нисковских, В.М. Машины непрерывного литья слэбовых заготовок / В.М. Нисковских, С.Е. Карлинский, А.Д. Беренов. М.: Металлургия, 1991. 272 с.
4. Мазур, В.Л., Хижняк, Д.Д. Сопротивление деформации низколегированных сталей // Сталь. 1991. №8. С. 41–43.

Bibliography

1. Danchenko V. The technology of pipe production / Danchenko V., Kolikov A., Romancev B., Samusev S. M. : Internet Engineering, 2002.
2. ANSYS. Structural Analysis Guide. URL: <http://www.cadferm.ru>
3. Niskovskih V. Continuous casting slab blanks / Niskovskih V., Karlinskij S., Berenov A. M.: Metallurgy, 1991.
4. Mazur V., Hizhnjak D. Resistance to deformation of low alloy steels // Steel. 1991. №8. P. 41-43.