

ВЛИЯНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОСТИ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ НА ХАРАКТЕР НДС В ОЧАГЕ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ВОЛОЧЕНИИ ПРОВОЛОКИ

INFLUENCE OF FRICTION COEFFICIENT NONSTATIONARITY ON THE CHARACTER OF STRAIN- STRESS STATE IN THE DEFORMATION ZONE DURING WIRE DRAWING

А.Г. Корчунов, Д.В. Константинов

ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический
университет им Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия
agkorchunov@mail.ru, const_dimon@mail.ru

Abstract

The results of modeling of wire drawing process of steel grade 80 with taking into account nonstationarity boundary friction conditions are presented in the article. The article describes the analytical dependence of boundary friction coefficient of the temperature on the wire surface. There is a basic method of accounting nonstationarity of tribological processes. The article describes a comparative analysis of the stress-strain state of wire in the deformation zone under constant and varying friction coefficient values. Our studies show that the transient character of friction in large diameter wire drawing leads to a more pronounced irregularity stress state and values of the damage criterion. The results demonstrate the areas with high concentrations of hydrostatic pressure and overestimated values Cockcroft-Latham criterion, which not previously observed in the simulation of this drawing sequence.

При моделировании процесса волочения, как правило, не учитывается тот факт, что в реальных условиях значения коэффициента трения зависят от различных факторов, например, усилие и скорость процесса, наличие и вид смазочного материала и др. При этом также не принимается во внимание сложность трибологических процессов на контакте проволоки и инструмента, что приводит к несоответствию результатов моделирования действующему процессу волочения. Если при моделировании не учитывать изменение коэффициента трения на контактной поверхности, это может привести к значительному расхождению результатов теоретических и экспериментальных исследований. В значительной степени это проявляется для больших диаметров проволоки (более 10 мм). Поэтому повышение адекватности моделирования процесса волочения проволоки больших диаметров за счет использования зависимости коэффициента трения от условий волочения является актуальной задачей.

В качестве объекта исследования приняли маршрут волочения проволоки из стали марки 80 с использованием в качестве исходной заготовки катанки диаметром 16,0 мм, который используется при производстве высокопрочной арматуры для железобетонных шпал нового поколения [1]. Моделирование проводили с использованием программного продукта Deform-3D. В настоящей работе рассмотрен пример применения зависимости коэффициента трения от температуры поверхности проволоки. Для модели были приняты следующие условия:

1. Волочение катанки диаметром 16,0 мм осуществляется по маршруту 14,78→13,48→12,38→11,46→10,68→9,98. Скорость волочения в последнем проходе - 2,1 м/с.

2. Волоку принимали идеально жестким телом. Геометрия волочильного инструмента соответствует ГОСТ 9453 для форм 15 и 13. Рабочий угол волоки принят равным 13° с уменьшением по маар

шпругу до 10°, длина калибрующей зоны 20-30 % от диаметра рабочего канала.

3. Волочение осуществляется с противонапряжением, которое составляет 15-20% от усилия волочения. На поверхности контакта металла и инструмента принимали закон трения Кулона-Амонтона $\tau_k = f\sigma_n$.

4. Диаграмма деформирования стали марки 80 была построена по результатам выполненных ранее экспериментальных исследований [2].

5. Использовалась сетка, состоящая из 4000 4-х угольных конечных элементов, размер стороны 4-х-угольника - 0,21 мм.

Особое внимание при моделировании было уделено более точному описанию процессов теплообмена на контактной поверхности. Для этого в производственных условиях на прямоточном волочильном стане RI 120/8 были проведены замеры температуры проволоки. При скорости волочения 2-4 м/сек температура проволоки на выходе из волоки составляет 121-131°C, на выходе проволоки с барабана - 33,5-41°C. Температура окружающей среды: 15°C; температура воды охлаждения в системе: 13°C. Охлаждение проволоки осуществляется конвективным способом посредством взаимодействия с охлаждающимися водой вытяжными барабанами и волоками. Количество витков проволоки на барабанах варьируется от 15 до 20. Исходя из этого, при моделировании была уточнена температура окружающей среды и инструмента. Охлаждение проволоки между проходами моделировалось следующим образом: в модели процесса проволока для охлаждения останавливалась между проходами на время, эквивалентное ее прохождению между волоками на стане.

При волочении проволоки больших диаметров в настоящее время применяется технологическая смазка Tescolubre FM/501, которая представляет собой высокоадгезивный и пластичный стеа-

рат кальция. Согласно паспортным данным с сайта производителя указанная смазка обладает технологическим параметром *meltingpoint* (температура размягчения), численно равным 180-220°C. Следовательно, коэффициент граничного трения будет варьироваться относительно температуры размягчения. То есть до полного размягчения смазки коэффициент трения будет иметь относительно высокие значения (~0,14), чем при температуре размягчения 180-220°C (~0,08). Однако также следует учесть, что абсолютно любая смазка на мыльной основе не в состоянии обеспечивать допустимые для приемлемого хода процесса условия граничного трения при температурах выше 350°C по причине полного ее выгорания и образования на поверхности проволоки слоя из продуктов горения, создающих дополнительный барьер, который способствует росту коэффициента трения до относительно высоких значений 0,15-0,16. Детальный подход к моделированию температурных условий позволил применить в модели уточняющую характеристику условий граничного трения. Предложенная аналитическая зависимость представлена на рис. 1.

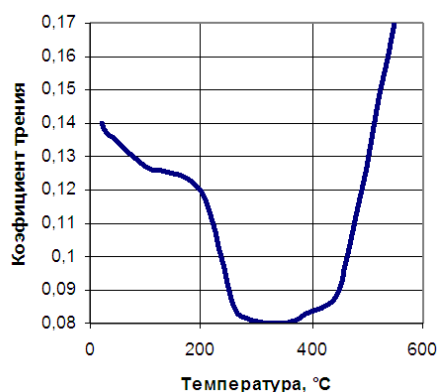


Рис. 1. Аналитическая зависимость коэффициента граничного трения от температуры проволоки

Для выявления изменений, обусловленных подобным характером условий граничного трения, был проведен сравнительный анализ полученных значений показателей НДС относительно результатов моделирования при постоянном коэффициенте граничного трения. Известно, что на пластичность металлов оказывает влияние не только схема главных напряжений, но и абсолютная величина их, характеризующаяся средним (гидростатическим) давлением. Чем больше абсолютная величина среднего давления сжатия (отрицательное гидростатическое давление), тем выше пластичность. Чем меньшую роль в схеме главных напряжений играют растягивающие напряжения и чем большую роль играют сжимающие, тем большую способность к пластической деформации проявляет металл. В качестве исследуемого параметра было выбрано распределение гидростатического давления по проходам маршрута волочения (рис. 2-5). Поврежденность при волочении оценивалось по критерию Кокрафта-Латама.

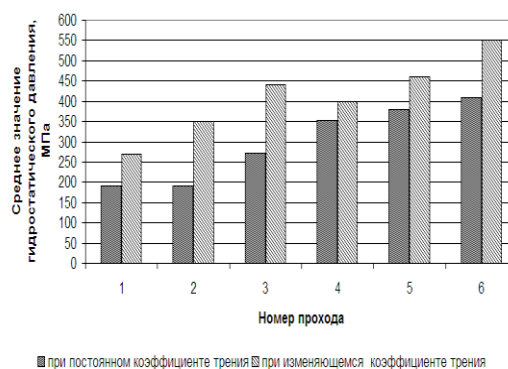


Рис. 2. Среднее значение гидростатического давления на поверхности проволоки при входе в очаг деформации

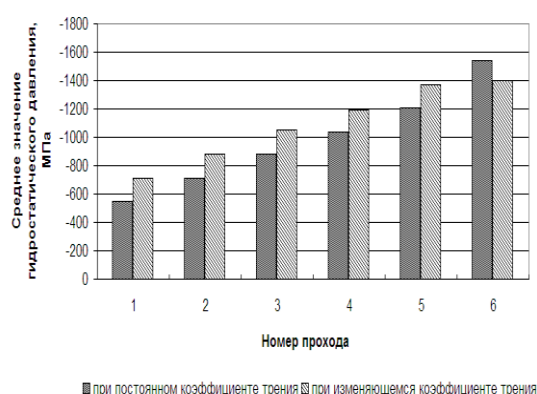


Рис. 3. Среднее значение гидростатического давления на поверхности проволоки в очаге деформации

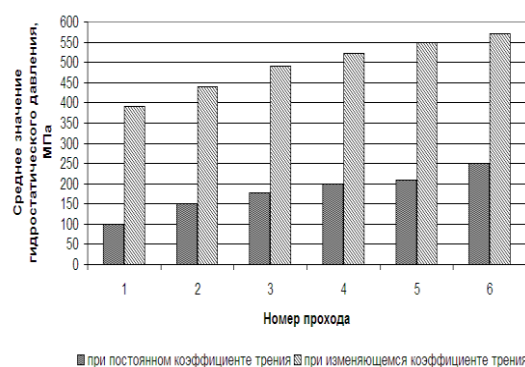


Рис. 4. Среднее значение гидростатического давления на поверхности проволоки в калибрующей зоне

Результаты моделирования показали, что характер изменения гидростатического давления на поверхности проволоки при входе в очаг деформации и непосредственно в очаге деформации не изменился. Однако значения гидростатического давления при изменяемом в зависимости от температуры коэффициенте граничного трения имеют более высокие значения. Особенно это заметно на

поверхности проволоки при входе в волоку на первых проходах маршрута волочения, когда разница между значениями может составлять от 25 до 40%.

Анализ результатов моделирования показал, что значения гидростатического давления на поверхности проволоки в калибрующей зоне волоки отличаются более чем в 2 раза. Подобная разница в оценке напряженного состояния в проволоке может не позволить достичь высокой степени достоверности на этапе прогнозирования конечных свойств продукта и стабильности процесса. Завышенные значения положительного гидростатического давления на поверхности проволоки в калибрующей зоне волоки приведут к увеличению усилия волочения, чрезмерному нагреву и износу инструмента. Разница между значениями гидростатического давления на поверхности проволоки в очаге деформации свидетельствует о более высокой способности к деформированию металла в данной области.

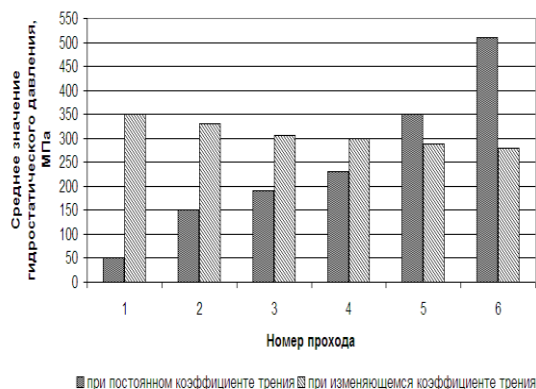
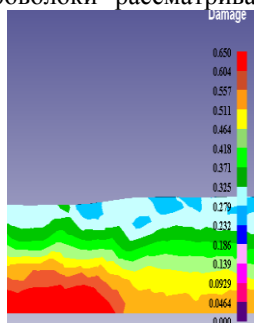


Рис. 5. Среднее значение гидростатического давления в центре проволоки в очаге деформации

При этом отдельно стоит отметить еще одно принципиальное отличие напряженного состояния при изменении коэффициента граничного трения, заключающееся в том, что зона повышенного положительного гидростатического давления также появляется в центре проволоки. Обозначенная зона имеет иной характер развития: при неизменном коэффициенте граничного трения среднее гидростатическое давление в данной области постепенно растет из прохода в проход. Однако при изменении коэффициента трения в зависимости от температуры поверхности проволоки рассматриваемая об-



Изменяющийся коэффициент трения

Рис. 7. Поля поврежденности металла в очаге деформации

ласть уже в первом проходе испытывает высокое гидростатическое давление и при дальнейшей обработке изменяется лишь незначительно. Результаты моделирования, полученные при изменении в зависимости от температуры коэффициентом граничного трения, согласуются с результатами ранее проведенных работ [3].

Анализ полей поврежденности проволоки в очаге деформации (рис. 6и7) показал, что при моделировании при изменении коэффициента граничного трения критерий Кокрафта-Латама на поверхности проволоки достигает более высоких значений и изменяется интенсивнее. Аналогичная сравнительная тенденция наблюдается по всем промежуточным слоям проволоки.

Однако принципиально иная картина складывается в центре проволоки, а именно, в области, находящейся в калибрующей зоне.

Если при постоянном коэффициенте трения в продольных сечениях проволоки значения критерия Кокрафта-Латама распределяются равномерно, то при изменении коэффициента трения от температуры из прохода в проход формируется локальная зона постоянно увеличивающихся значений критерия поврежденности (рис. 7). Причиной подобной тенденции может служить значительно возрастающее в данном участке проволоки максимальное главное растягивающее напряжение. Данное напряжение в совокупности со снижающейся интенсивностью напряжений определяет локальную зону высоких значений критерия поврежденности.

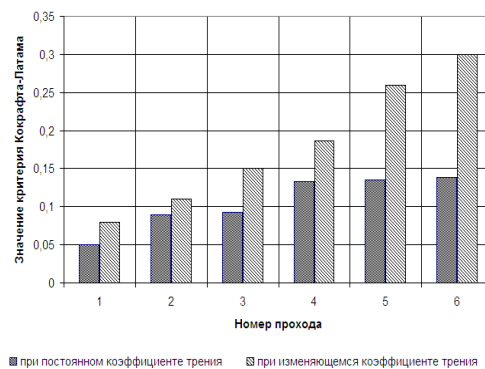
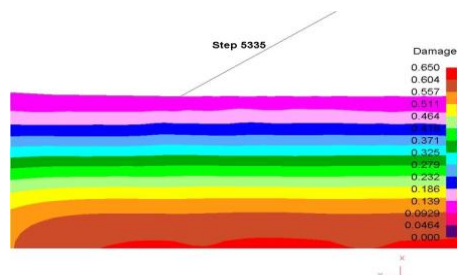


Рис. 6. Значение критерия Кокрафта-Латама на поверхности проволоки



Постоянный коэффициент трения

Полученные результаты наглядно демонстрируют, что более гибкий подход к описанию условий трения позволяет получить качественно и количественно иные распределения исследуемых параметров напряженно-деформированного состояния. Адекватный учет условий граничного трения при моделировании процесса волочения может позволить более точно и продуктивно оценивать маршруты волочения с позиции формируемого в проволоке НДС, что особенно важно при проектировании маршрутов для проволоки больших диаметров.

Проведенный сравнительный анализ доказывает, что нестационарный характер трения при волочении проволоки большого диаметра приводит к более ярко выраженной неравномерности напряженного состояния и значений критерия поврежденности. Благодаря этому, удалось выявить ранее не наблюдаемые при моделировании обозначенного маршрута зоны проволоки с высокими концентрациями гидростатического давления и завышенными значениями критерия Коккрафта-Латама. Если не принимать во внимание подобного рода результаты, то это может привести к серьезным производственным последствиям на этапе внедрения маршрута в производство, так как с увеличением диаметра получаемой проволоки чрезмерная неравномерность ее напряженного состояния непосредственно ведет к получению конечного продукта с высоким разбросом механических и технологических свойств. Также повышенные значения критерия поврежденности должны быть учтены при оптимизации маршрута волочения и геометрии инструмента.

Иными словами, изменение коэффициента трения неизбежно влечет изменение напряженно-деформированного состояния в очаге деформации, что в свою очередь оказывает влияние на результат проектирования маршрута волочения проволоки. Это в значительной степени усложняет процесс прогнозирования свойств готовой продукции.

Список литературы

1. Lebedev V.N., Korchunov A.G., Chukin M.V. Production of stabilized high-strength reinforcement steel for the new generation of ferroconcrete railroad ties. / *Metallurgist*. - 2011. - Т. 55. - № 1-2. - С. 54-58.
2. Lebedev V.N., Korchunov A.G., Chukin M.V. Manufacture of high-strength stabilized reinforcement for reinforced-concrete ties of new generation. / *Metallurgist*. - 2011. - № 1. - С. 75-79.
3. Снигирев Д.П. Напряженное состояние при осесимметричном волочении медного прутка / *Известия Томского политехнического университета*. - 2008. - Т. 313. - № 2. - С. 21-27.