

ТЕПЛОВОЕ И ТЕРМОНАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОДООХЛАЖДАЕМЫХ ОПРАВОК¹

© 2010 г. Н.М. Вавилкин, Д.В. Бодров

Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

Разработана методика расчета температурных полей водоохлаждаемых прошивных оправок. Произведено сравнение результатов расчета уравнения теплопроводности методами конечных элементов и конечных разностей. Предложено изготовление оправок из жаропрочного сплава ЭП-745. Приведены результаты термонапряженного состояния водоохлаждаемых прошивных оправок.

Прошивная оправка, является важнейшим элементом технологического инструмента прошивного стана, работающим в тяжелых условиях и подвергающимся длительному циклическому воздействию высоких температур и большим давлениям. Наиболее эффективными в эксплуатации показали себя водоохлаждаемые оправки, отличаясь по стойкости при прокатке легированных сталей по сравнению со сменяемыми.

Основными видами износа являются пластическая деформация носка, рабочей поверхности и ее растрескивание. Установлено, что износ несменяемых оправок происходит из-за периодического воздействия температур в определенном диапазоне, вызывающего обезуглероживание поверхностного слоя [1]. Появление трещин на сферической части обусловлено возникающими термическими напряжениями.

Таким образом, основным фактором определяющим стойкость оправок является уровень температуры и её распределение по объёму прошивного инструмента. Для оценки этого воздействия необходимо провести анализ

¹ Представлено на научно-технической конференции «Павловские чтения» 27.10.10 г.

температурного и термонапряженного состояния. Сравнительный анализ способов получения температурных моделей показал, что аналитические методы не позволяют учесть все условия эксплуатации и получить полноценную картину распределения температуры [2]. Поэтому целесообразно остановиться на численных методах, а именно конечных разностей (МКР) и конечных элементов (МКЭ). МКР является одним из самых точных и наиболее простых, но в то же время область его применения существенно ограничена формой рассматриваемого тела [3]. Достаточную точность можно получить только на фигурах простой формы или упростив (разложив на составные), что является задачей программирования. МКЭ – более высокая степень развития численных методов, его применение не ограничено ни формой, ни условиями контакта или взаимодействия. Основной недостаток – относительная сложность и трудоемкость расчетов, но современные программные комплексы (CosmosWorks, Deform, Forming, Algor, Ansys, Nastran и тд.), позволяют моделировать процессы теплообмена и деформации с применением мощных вычислительных средств и получать необходимые результаты, достоверность и адекватность которых зависит от компетентности пользователя. Для расчета с применением этого метода необходимо описание геометрии исследуемого объекта конечно-элементной сеткой на основе твердотельной модели созданной в САД системах.

Изучение очага деформации при винтовой прокатке, темплетов заготовок [4] и результатов моделирования с использованием Deform-3D, позволило выявить условия взаимодействия и контакта оправки с заготовкой и

выбрать граничные условия (рис. 1). Термическому анализу подвергались водоохлаждаемые оправки диаметрами 80, 98, 120 мм применяемые на ОАО «СинТЗ» (ТПА-80, ТПА-140).

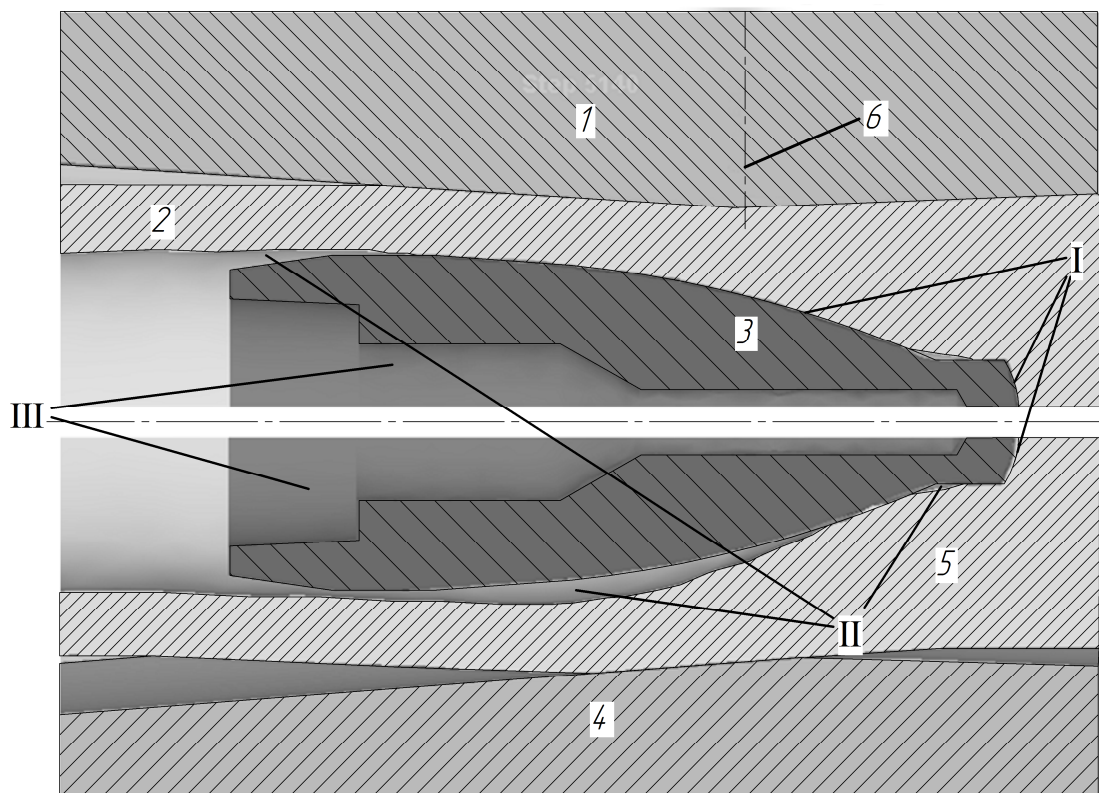


Рис.1. Схема теплообмена в очаге деформации при прошивке гильзы: 1 – валок; 2 – гильза; 3 – оправка; 4 – направляющие линейки; 5 – заготовка; 6 – пережим валков; I – теплообмен за счет теплопроводности; II – теплообмен конвекцией и излучением; III – внутреннее охлаждение.

При решении уравнения теплопроводности МКР, использовалась схема Кранко-Николсона, а решение систем разностных уравнений, получаемых при реализации этой схемы, осуществлялось методом прогонки, что позволило достичь наибольшей точности с наименьшими затратами времени. Водоохлаждаемая оправка имеет достаточно сложную конфигурацию и задание её геометрии конечно-разностной сеткой сопряжено со значительными трудностями, поэтому

дальнейший расчет оправок с другими диаметрами и измененной конфигурации, целесообразно проводить с применением МКЭ.

В результате расчета теплового поля оправки диаметром 98 мм и сравнения температур, полученных МКР и МКЭ, подтверждена достаточная точность МКЭ, а также выявлены области подверженные наибольшему разогреву. Установлено, что при выбранных условиях нагрева 5 сек и охлаждения 12 сек уже через 5 циклов наблюдается квазистационарное тепловое состояние исследуемого объёма. Температурное поле имеет осевую симметрию (рис. 2). Максимальная температура на носке составляет около 950 °С (точка 1), а прилегающей сферической части – 650 °С (точка 3) (рис. 3). На поверхности полости охлаждения (точки 2 и 4) температура не превышает 406 °С. Значительное воздействие на тепловое состояние оказывает время контакта заготовки с оправкой, таким образом, возможна оценка изменения температурного режима в зависимости от технологических параметров (угол подачи, скорость прокатки, длина заготовки) определяющих время прошивки по известной зависимости времени и скорости прошивки [5].

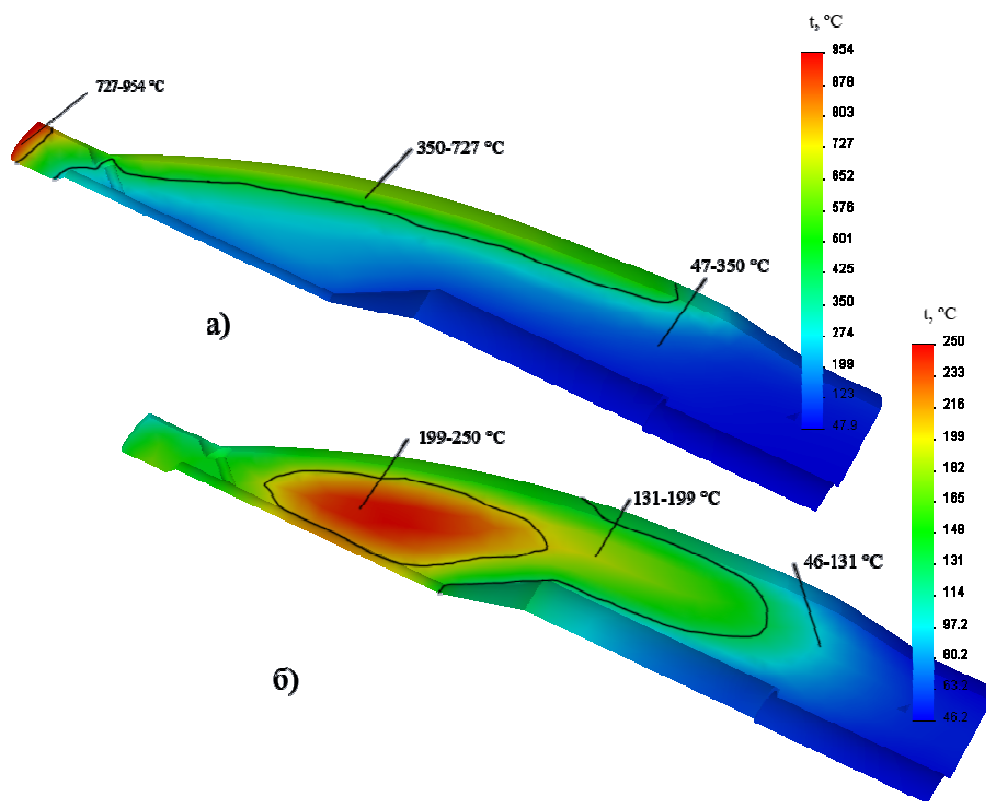


Рис. 2. Тепловое поле водоохлаждаемой оправки диаметром 98 мм при прошивке (а) и охлаждении (б)

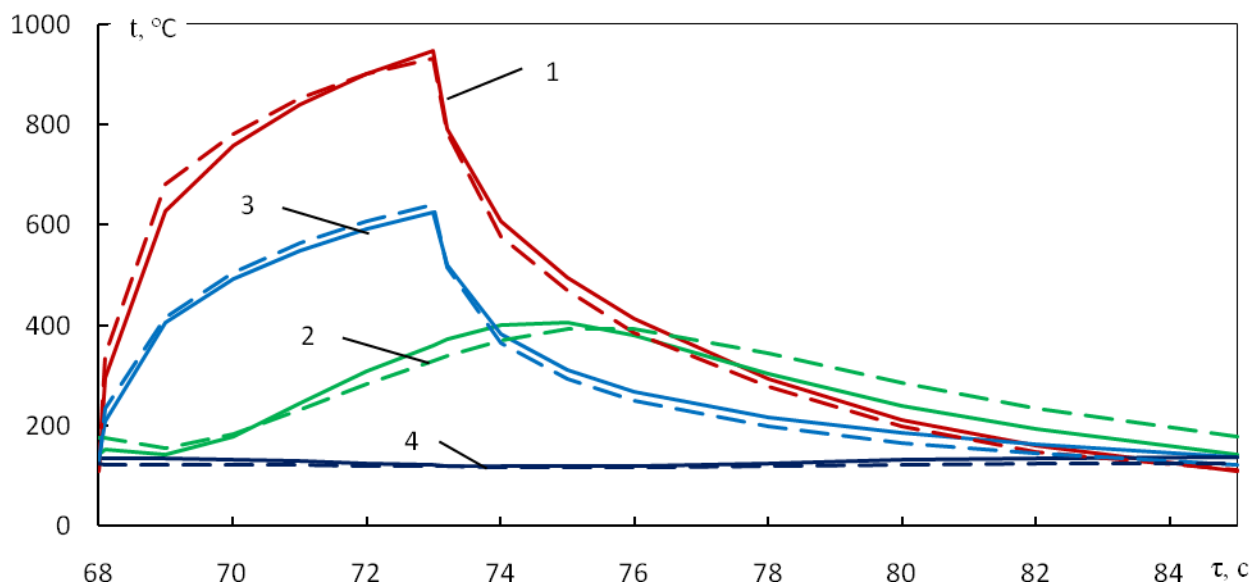


Рис. 3. Изменение температуры оправки диаметром 98 мм на пятом цикле прошивки и охлаждения, рассчитанное МКЭ (—) и МКР (----) в контрольных точках (1-4).

Материал оправки 12Х2МФСР работает намного выше своего рабочего диапазона (600-650 °С) поэтому целесообразно изготовление их из жаропрочного сплава ЭП-745 с более высоким пределом рабочих температур (1000-1100 °С).

По полученным температурным полям был произведен анализ термических напряжений, возникающих вследствие неравномерности температуры [6], выявлены области подверженные наибольшему воздействию – это рабочий участок сферической поверхности у носка и поверхность полости охлаждения в месте перехода от широкого канала к узкому. Для оправок диам. 84 и 98 мм в этой области интенсивность напряжений (σ_i) составляет 640 МПа и 430 МПа соответственно, а на рабочей поверхности 827 МПа и 870 МПа. Так же следует отметить значительную неравномерность σ_i по толщине стенки и её длине. В целом, при уменьшении времени контакта с металлом уровень напряжений прошивной оправки снижается.

Расчет термических напряжений производился в рамках теории упругости, поэтому превышение σ_i пределов текучести в нагруженных зонах, может говорить о переходе материала на локальных участках поверхностного слоя в пластическое состояние, что может быть объектом дальнейших исследований с использованием моделей с применением упруго-пластичной средой.

Выводы.

1. В результате проведенной работы разработана методика расчета температурных полей и термических напряжений водоохлаждаемых

прошивных оправок, позволяющая производить оценку их износостойкости, произведено сравнение точности расчетов МКЭ и МКР.

2. Выявлены области подверженные наибольшему температурному воздействию.
3. Отмечена возможность анализа влияния технологических факторов на температурное поле оправок.
4. Определены области с повышенными значениями термических напряжений и вероятностью возникновения трещин сетки разгара.
5. Предложено использование жаропрочного сплава ЭП-745 в качестве материала для изготовления оправок, позволяющего значительно повысить стойкость прошивного инструмента.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вавилкин Н.М., Гончаров В.С., Бодров Д.В., Липнягов С.В. Особенности износа водоохлаждаемых оправок при прошивке легированных сталей // Изв. вуз. Черная металлургия. 2009. №6. с.37-40
2. Баскаков А.П., Толмачев Е.М., Добыш А.Н. Тепловой режим охлаждаемой оправки прошивного стана // Сталь. 2006. №3. с.55-58
3. Арутюнов В.А., Бухмиров В.В., Крупенников С.А. Математическое моделирование тепловой работы промышленных печей. М.: Металлургия, 1990 – 239 с.
4. Романцев Б.А., Гончарук А.В., Вавилкин Н.В., Самусев С.В. Обработка металлов давлением. М.: МИСиС, 2008 – 960 с.

5. Вавилкин Н.М., Белевич А.В., Бодров Д.В., Изотов Д.Г., Гончаров В.С.
Исследование теплового поля прошивной водоохлаждаемой оправки // Изв. вуз. Черная металлургия. 2010. №3. с. 41-44
6. Вавилкин Н.М., Белевич А.В., Изотов Д.Г., Бодров Д.В., Гончаров В.С.
Исследование термонапряженного состояния водоохлаждаемых прошивных оправок // Изв. вуз. Черная металлургия. 2010. №7. с. 35-38