

УДК 621.9

## ФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ СТЫКОВ ПРИ ТЕРМИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ

Михаил Сергеевич Куц

Студент 4 курса,  
кафедра «Металлорежущие станки и оборудование»  
Московский государственный технический университет

Научный руководитель: Б.М. Дмитриев, доктор технических наук, профессор кафедры «Металлорежущие станки и оборудование»

Металлорежущий станок – сложная термо-механическая система. Во время работы он подвергается не только механическому воздействию, но и также тепловому. Под воздействием тепла происходят тепловые деформации несущей системы станка, что ведет к возникновению погрешностей обработки[1].

В тоже время в несущей системе станка присутствует большое количество стыков. На данный момент существует множество работ[2] посвященных контактной податливости, позволяющие учитывать стык при расчете несущей системы на жесткость. В тоже время существует достаточно работ[3] посвященных влиянию стыка на тепловые процессы. Однако все они находят применение в области энергетических установок, теплообменников и т.д., где объектом исследования является непосредственно тепло, и необходимо иметь информацию о температурном поле для повышения качества их работы. В станке же важно не столько само тепловое поле, сколько то влияние которое оно оказывает на несущую систему- деформации под воздействием тепла. Поэтому целью данной работы было применение знаний о влиянии стыка на тепло при расчете деформаций системы.

Как известно[4] стык препятствует прохождению тепла, обладая термическим сопротивлением. Рассмотрим задачу о стержне: к торцу медного стержня с известной геометрией подведен источник тепла (рис. 1). Необходимо определить удлинение стержня после достижения равновесного термического состояния, в случаях если стержень целый и составной.

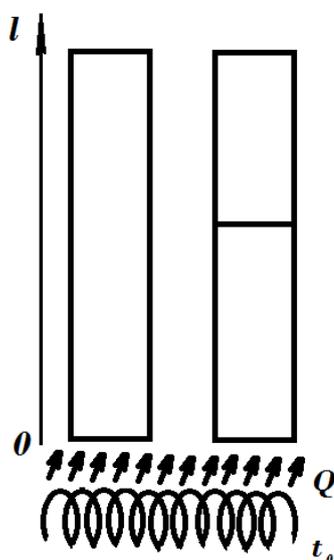


Рис.1 Схема нагрева.

Как известно из курса сопротивления материалов тепловые деформации в случае одномерного стержня равны

$$\frac{du}{dl} = \alpha \Delta T \quad (1)$$

,где  $\alpha$ -коэффициент линейного теплового расширения,  $u$ -удлинение,  $\Delta T$ -разница температур до и после нагрева.

В общем случае, когда температура стержня не однородна, а представляет собой некоторую функцию  $\Delta T = \Delta T(l)$  полные удлинения стержня можно найти проинтегрировав (1):

$$u = \alpha \int_0^L \Delta T(l) dl \quad (2)$$

В таком случае проблема состоит в определении зависимости  $\Delta T(l)$ .

К одному из торцов стержня подводят источник тепла температуры  $t_1$  имеющим тепловой поток  $Q$ . После достижения теплового равновесия распределение температуры по длине сплошного стержня будет иметь вид:

$$t(l) = t_1 - rQl \quad (3)$$

,где  $r$ - удельное термическое сопротивление стержня.

Распределение температуры составного стержня имеет вид:

$$\begin{cases} t(l) = t_1 - rQl, & \text{при } l < L_{\text{стк}} \\ t(l) = t_1 - rQl - RQ, & \text{при } l > L_{\text{стк}} \end{cases} \quad (4)$$

,где  $R$ - термическое сопротивление стыка.

Зная распределение температуры по стержню, а соответственно и распределение  $\Delta T(l)$  можно найти удлинения стержней. Для сплошного стержня удлинение равно:

$$u = \alpha \int_0^L (t_1 - rQl - t_0) dl = aL(t_1 - \frac{rQl}{2} - t_0) \quad (5)$$

Для составного стержня удлинение равно:

$$u = \alpha \left( \int_0^{L_{\text{стк}}} (t_1 - rQl - t_0) dl + \int_{L_{\text{стк}}}^L (t_1 - rQl - RQ - t_0) dl \right) = a \left( \int_0^L (t_1 - rQl - t_0) dl - \int_{L_{\text{стк}}}^L RQ dl \right) = aL(t_1 - \frac{rQl}{2} - t_0) - aR(L - L_{\text{стк}}) \quad (6)$$

Таким образом удлинение составного стержня меньше удлинения сплошного на величину  $\Delta u = aR(L - L_{\text{стк}})$ , которая зависит от термического сопротивления стыка и его расположения в стержне.

Для подтверждения данного решения был поставлен эксперимент- два стержня с одинаковой геометрией, один из которых составной, а другой сплошной, погружены в масло. Нагрев производится с помощью спирали. Для сбора данных об удлинениях и температурах используется АСИ[5]. Ниже приведены полученные экспериментальные данные.

Таблица 1. Результаты экспериментов.

№ п/п	Дата проведения	Напряжение	Максимальное значение удлинения, мкм		Максимальное значение температуры, °С		Сила затяжки Н*м
			Целый стержень	Стержень со стыками	Целый стержень	Стержень со стыками	
1	30.01.2014	120	246,92	192,81	56,032	51,938	0,51
2	31.01.2014	50	58,638	28,816	32,681	31,504	0,51
3	03.02.2014	80	143,85	70,782	41,449	40,324	0,51

На графиках ниже представлено изменение удлинений и температуры стержней с течением времени.

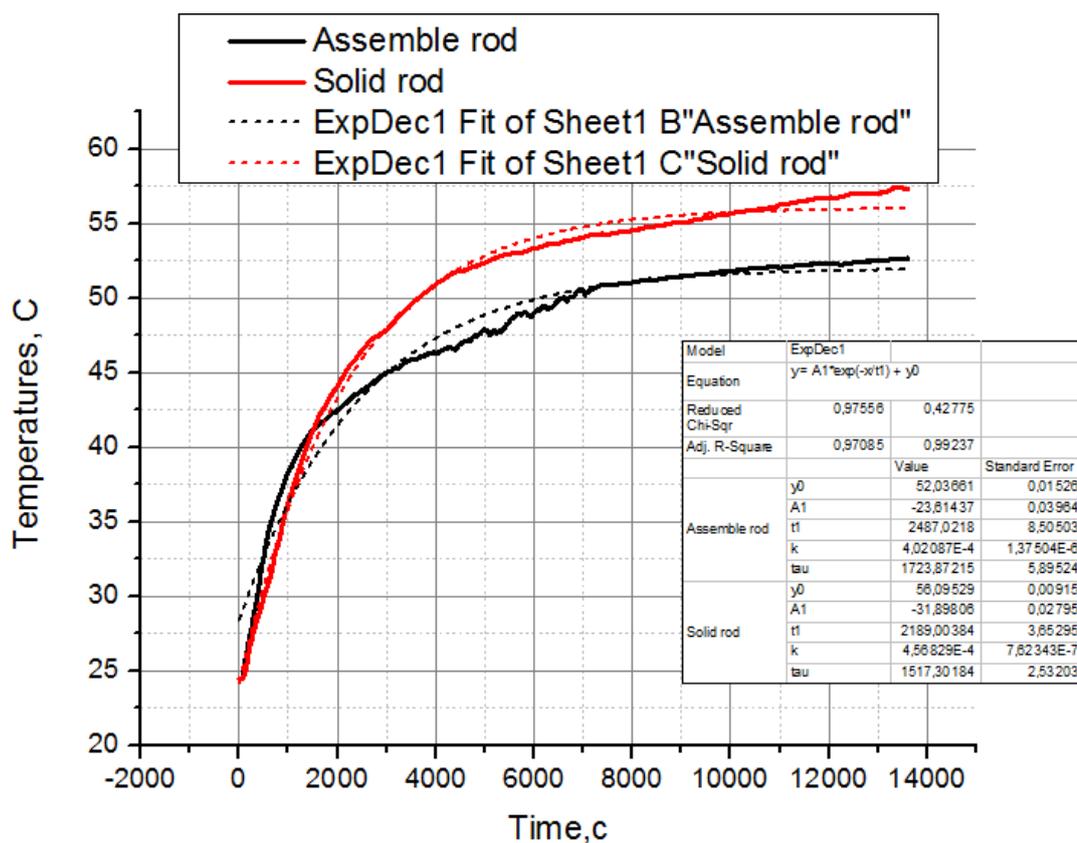


Рис.2. График изменения температуры при напряжении нагревателя 120В.

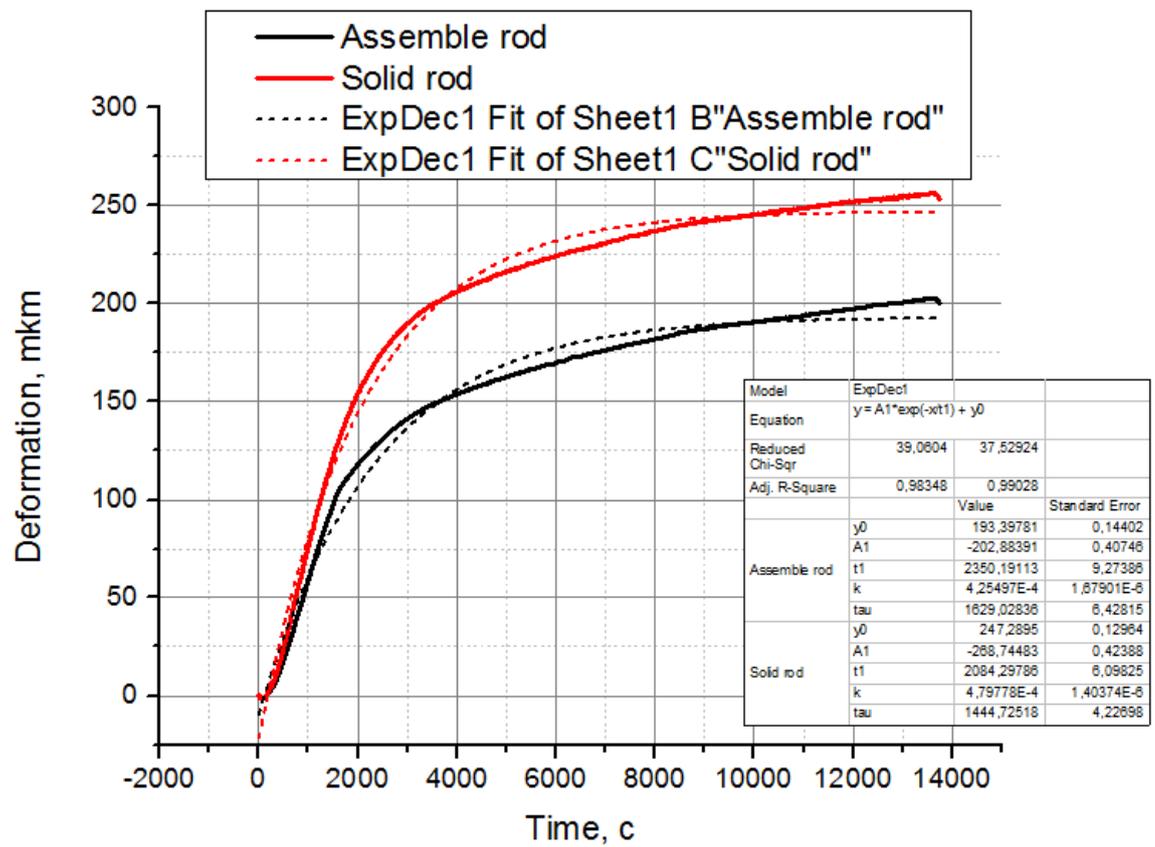


Рис.3. График изменения деформации при напряжении нагревателя 120В.

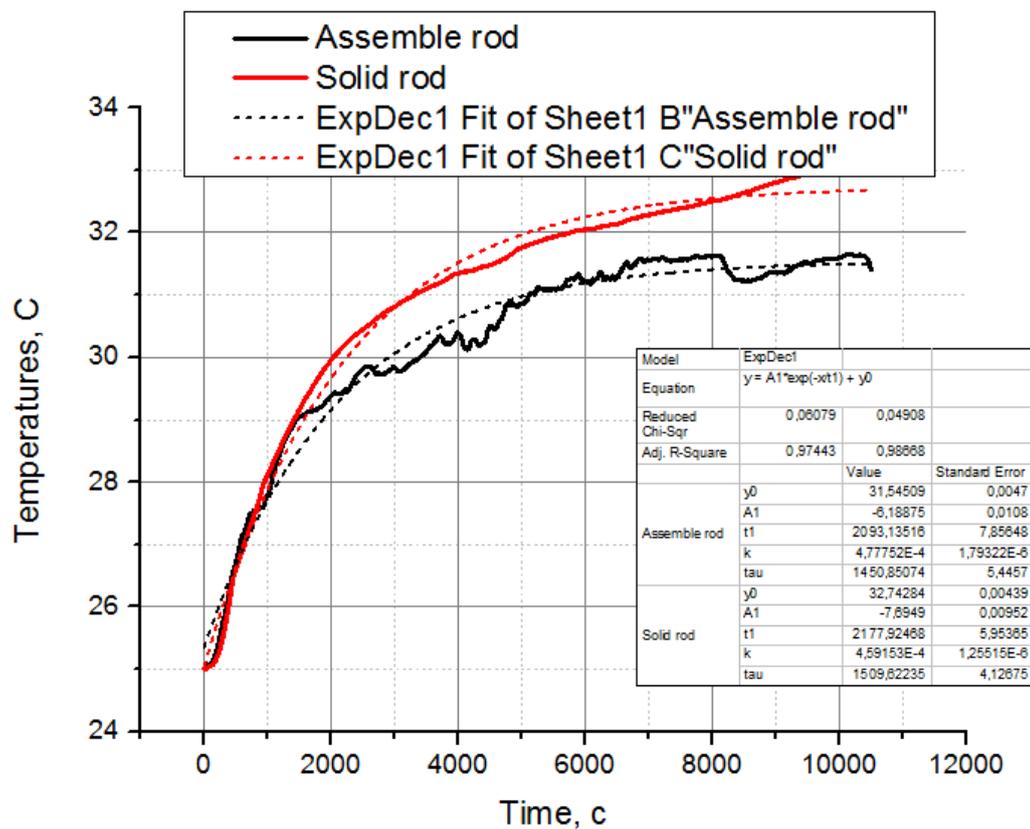


Рис.4. График изменения температуры при напряжении нагревателя 50В.

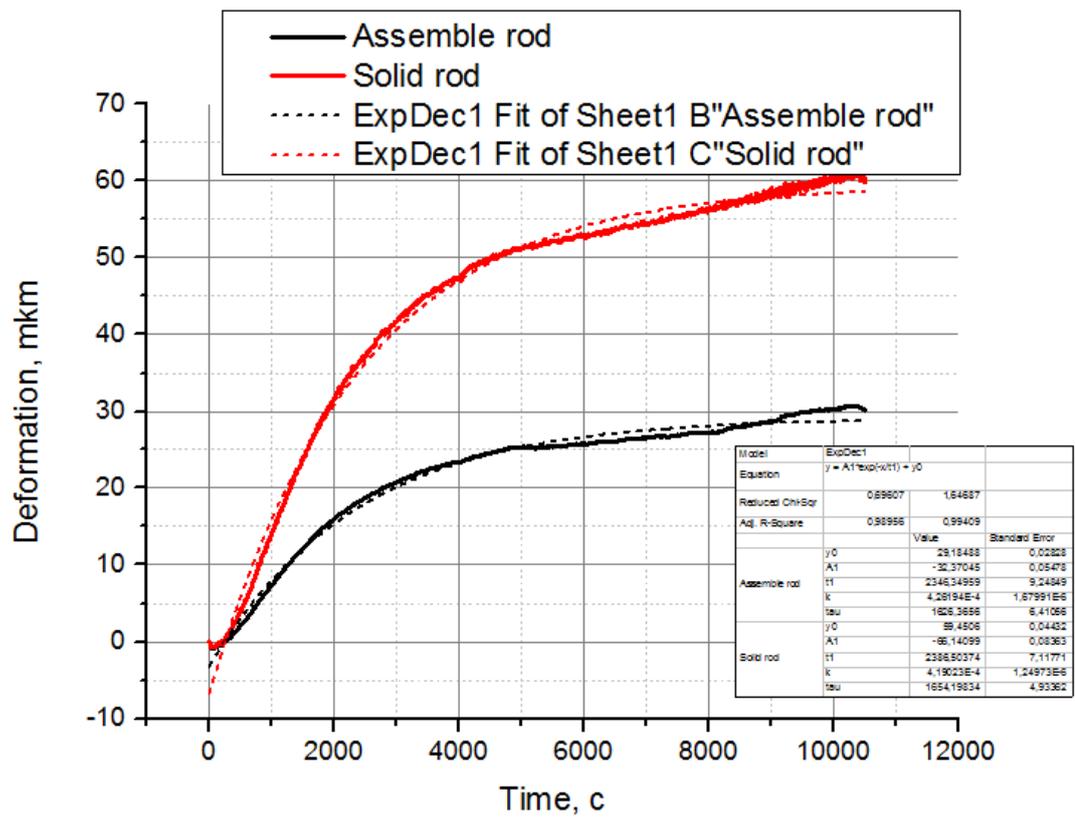


Рис.5. График изменения деформации при напряжении нагревателя 50В.

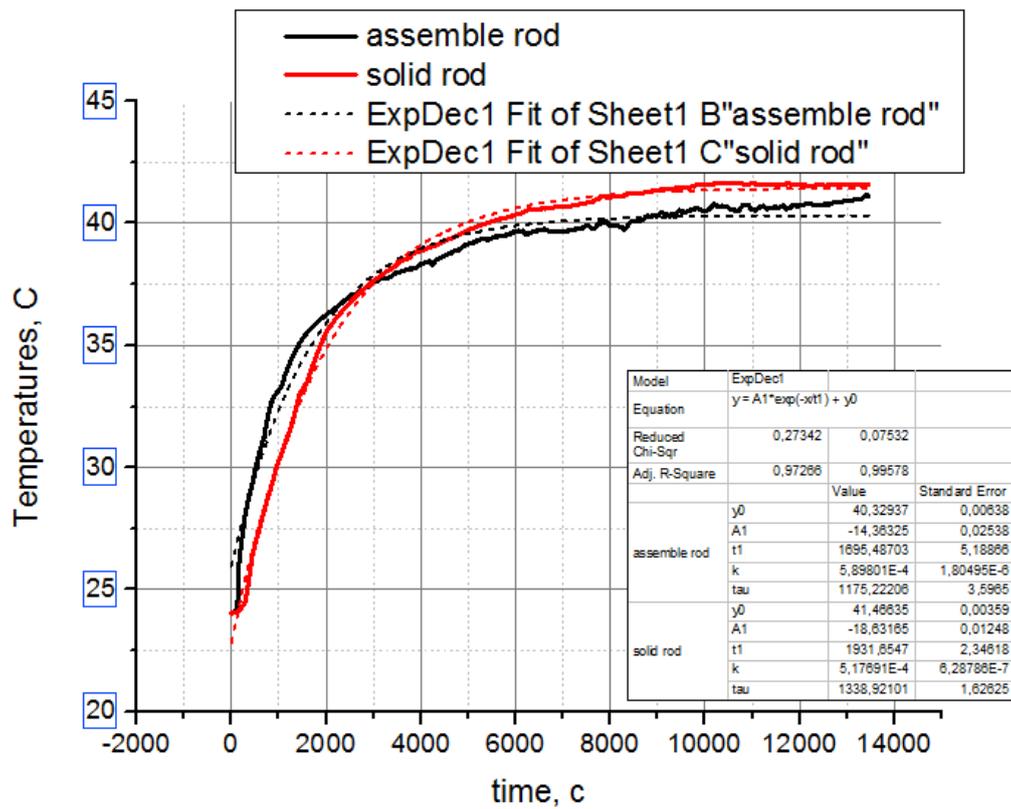


Рис.6. График изменения температуры при напряжении нагревателя 80В.

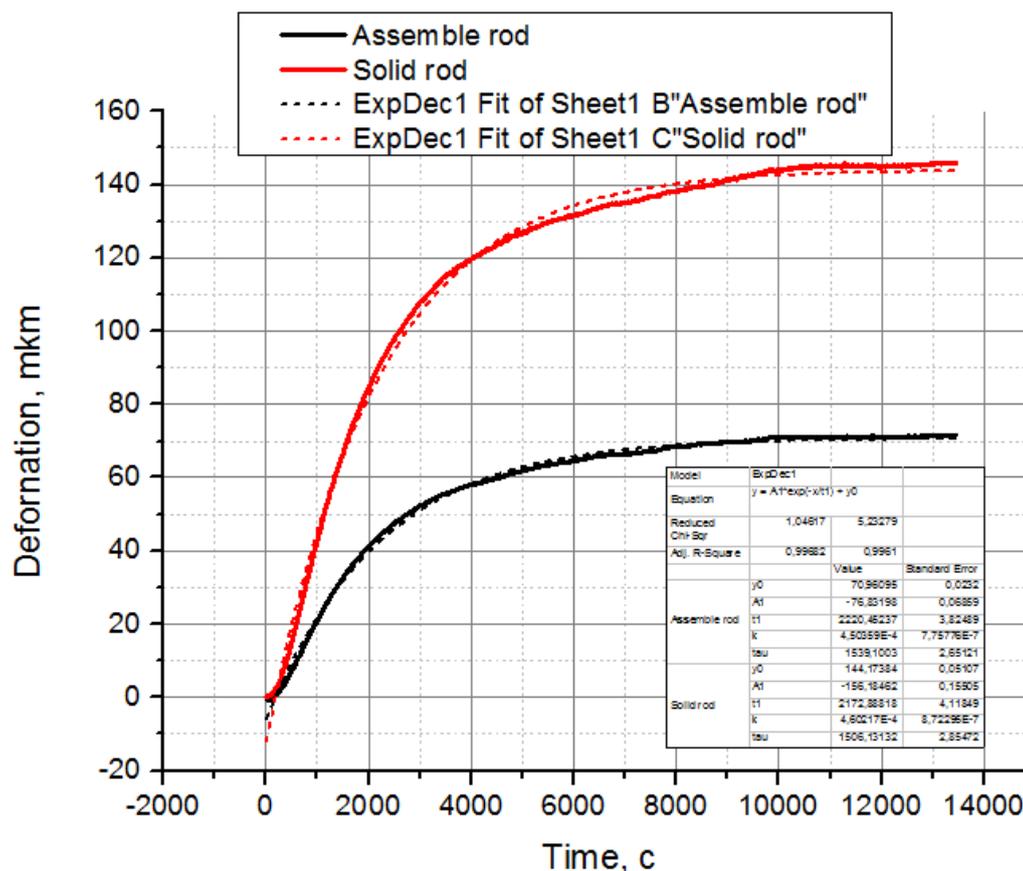


Рис.7. График изменения деформации при напряжении нагревателя 80В.

### Выводы.

В данной работе представлен расчет тепловых деформаций на примере задачи о медном стержне с учетом влияния оказываемом стыком. Проведенные эксперименты подтверждают влияние стыка на тепловые деформации. В дальнейшем планируется более подробно исследовать влияние стыков на термические деформации при различном давлении контакта, а также выработка конструкторских рекомендаций по обеспечению наиболее эффективного стыка в несущей системе станка.

### Литература:

1. Реакция несущей системы станка на термические воздействия / Дмитриев Б. М. // Известия ВУЗов. Сер. "Машиностроение". - 2013. - № 10. - С. 75 - 78.
2. Механика и физика процессов на поверхности и в контакте твердых тел и деталей машин: Межвуз. сб. науч. тр. / Под ред. Н.Б. Демкина. Тверь: ТГТУ, 2005. 132 с.
3. Современный взгляд на проблемы теплового контактирования твёрдых тел / Меснянкин С. Ю., Викулов А. Г., Викулов Д. Г. - УФН 179 945–970 (2009)
4. Контактное термическое сопротивление. / Шлыков Ю.П., Ганин Е.А., Царевский С.Н.– М.: Энергия, 1977. – 328 с.
5. Автоматизированная измерительная система для исследования термического состояния станка / Куц М.С. /Сборник трудов конференции «Будущее машиностроения России 2013», с.4-5.