

Обоснование режимов токарной обработки закаленных деталей с учетом технологических ограничений

А.А. Крутько¹, Д.С. Губин¹, А.А. Панова¹, А.А. Воробьев²

¹ Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

² Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация Исходя из анализа условий токарной обработки закаленных деталей установлено, что одним из эффективных направлений повышения износостойкости режущего инструмента и точности обработанного профиля является оптимизация формы режущего лезвия и режимов резания на основе термомеханического подхода с учетом двух факторов: температуры и напряжения. На основе данной гипотезы разработаны рекомендации по совершенствованию процесса восстановительной токарной обработки профиля железнодорожных колес

Ключевые слова Режимы резания, режущая пластина, напряжение, температура, закаленная сталь

Практически используемые рекомендации [4] по назначению рациональных режимов токарной обработки закаленных стальных деталей учитывают, как правило, только один критерий – износостойкость режущего инструмента. Однако, в большинстве случаев, для обеспечения условий безопасной и долговечной эксплуатации изделий приходится учитывать также и ограничения, связанные с технологическими требованиями к точности и шероховатости обработанной поверхности.

Так, например, наметившаяся тенденция увеличения скоростей движения железнодорожного тягового подвижного состава свыше 120 км/час приводит к ужесточению допусков на биение обработанной поверхности железнодорожных колес (2Δ) с 0,5 мм до 0,3 мм, а также требований к шероховатости обработанного профиля – от $Rz < 80$ мкм до $Rz < 40$ мкм. Эти тенденции согласуются и с зарубежной практикой, согласно которой отклонения обработанной поверхности не должны превышать 0,12 - 0,15 мм, а шероховатость, быть не более 20 мкм. Однако обеспечение все возрастающих требований осложняется тем, что твердость обрабатываемых колес также увеличивается (с $HV=2850$ МПа до $HV=3600$ МПа) [2].

Практически применяемые при восстановлении профиля колес режимы резания [2, 3] не учитывают этого и направлены главным образом, на достижение наибольшей производительности обработки (рис. 1). Кроме того, данных по режимам обработки колес повышенной твердости не достаточно и не всегда они обоснованы с позиции обеспечения точности и шероховатости обработанной поверхности.

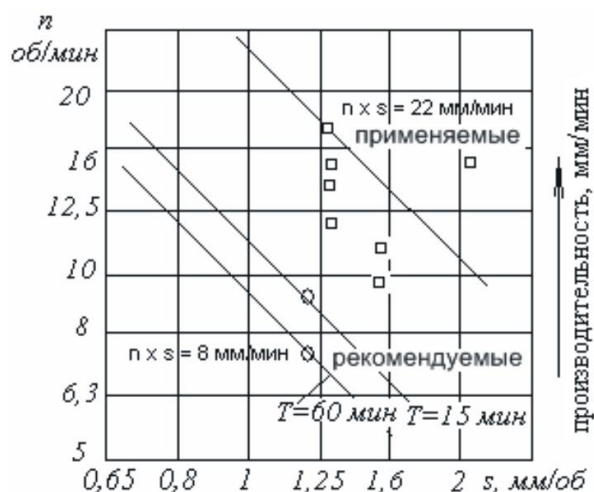


Рисунок 1 - Сопоставление режимов резания применяемых в производственных условиях с рекомендуемыми SANDVIK MKTC

Таким образом, теоретическое определение рациональных режимов токарной обработки и геометрических параметров режущего лезвия при резании закаленных сталей с учетом ограничений по износостойкости и точности обработанной поверхности является актуальной задачей.

Исследования закономерностей изнашивания инструмента выполнялись преимущественно экспериментальными методами [3, 4] и достоверны для области обработки не закаленных сталей. Однако, как отмечали Т.Н. Лоладзе, Трент, Талантов, Одинг и др., токарная обработка закаленных сталей сопровождается значительными пластическими деформациями режущего лезвия, что приводит к необходимости учитывать влияние не только температуры, но и напряжений [3].

Как показали исследования, учесть это влияние позволяет термомеханический подход [1]. В частности при расчете температур на поверхностях режущего лезвия были учтены действительные зависимости механических характеристик от температуры при растяжении и вытекающие из них действительные механические характеристики обрабатываемого материала при резании [3].

Расчет показал, что при практически применяемых режимах обработки колесных пар максимальные температуры передней поверхности находятся в пределах 1100 – 1150 °С, в то время как температура задней поверхности возрастает с увеличением ширины фаски износа свыше 0,5 мм от 800 до 950 °С.

С учетом полученных сведений о максимальных температурах на передней и задней поверхностях рассчитывалась температура формоустойчивости, характеризующая в среднем температуру режущего лезвия [3]:

$$\theta_{\phi} = \theta_0 + \sqrt{\frac{(\theta_{n,\max} - \theta_0)^2 + (\theta_{z,\max} - \theta_0)^2}{2}} / 1,41 \quad (1)$$

где $\theta_0 = 300 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Для применяемых на производстве условий резания температуры формоустойчивости составляла 1000 – 1050 °С, что выше оптимальных температур работы твердого сплава.

Наблюдения за изнашиванием режущего инструмента при токарной обработке колесных пар выявили, что изменение ширины фаски износа тесно связано с пластическими деформациями и опусканием режущей кромки в первые секунды резания, что согласуется с выводами Т.Н.Лоладзе, Е.М.Трента, Н.В.Талантова. (рис.2).

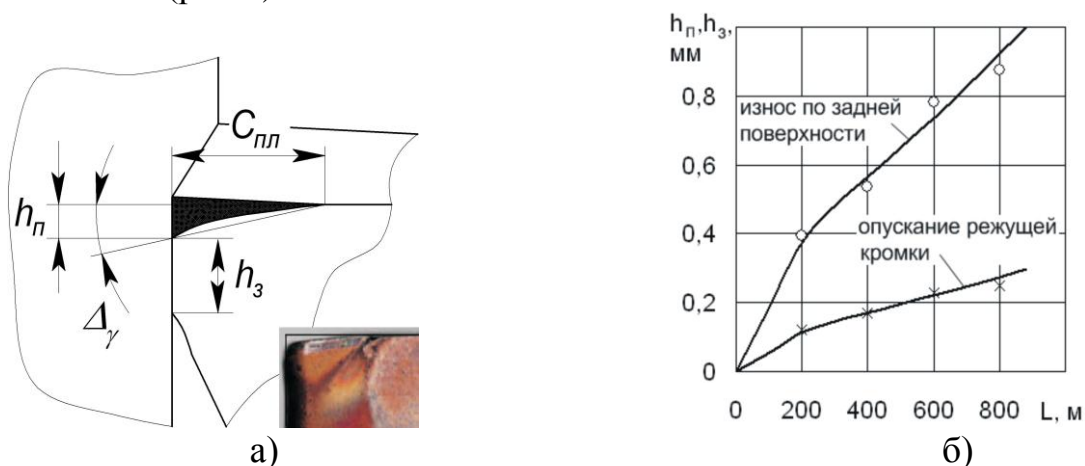


Рисунок 2 - Пластическая деформация режущего инструмента (а), изменение ширины фаски износа от пути резания и величина опускания режущей кромки (б) при обработке колесной пары твердостью НВ = 2850 МПа призматическим резцом марки Т14К8, $\varphi=75^\circ$, $\gamma=10^\circ$, $\alpha=10^\circ$, $r=4$ мм, $t = 8$ мм, $S = 1,2$ мм/об, $V = 38$ м/мин

Таким образом, закономерности изнашивания режущего лезвия при токарной обработке закаленных сталей, зависят не только от температуры формоустойчивости, но и от напряжения, т.е. основываются на закономерностях, характерных не только для адгезионного изнашивания режущего лезвия, но и для ползучести.

Для характеристики напряжений в данной работе использовался безразмерный фактор σ для которого определение касательных напряжений σ_m производилось по силам резания с использованием теоретического решения Мичелла [3]:

$$\sigma = \sigma_m / (K \sigma_u), \quad (2)$$

где σ_u - предел прочности инструментального материала на изгиб, МПа;

K – коэффициент, учитывающий влияние температуры на действительный предел прочности на изгиб σ_u инструментального материала.

Таким образом, зависимости интенсивностей изнашивания режущего инструмента аппроксимировались функцией двух переменных: температурой формоустойчивости T'_ϕ и напряжения σ :

$$\frac{\delta(T'_\phi, \sigma) - \delta_0(\sigma)}{\delta_1 - \delta_0(\sigma)} = \left(\frac{T'_\phi - T'_{\phi_0}(\sigma)}{T'_{\phi_1} - T'_{\phi_0}(\sigma)} \right)^2, \quad (3)$$

где $T'_{\phi_0}(\sigma_m) = (0,6 + 0,1 * |\sigma|)$, $T'_{\phi_1} = 0,85$

На основании разработанной модели, учитывающей особенности обработки закаленных сталей был проанализирован технологический процесс восстановления колесных пар точением.

Установлено, что для повышения сопротивления режущего лезвия пластическим деформациям целесообразно предварительно притуплять режущее лезвие по задней поверхности на величину $h_0 \approx 0,1 \text{ мм}$. Такое притупление не приводит к существенному изменению отклонений Δ_u и не увеличивает температуры формоустойчивости (рис. 3).

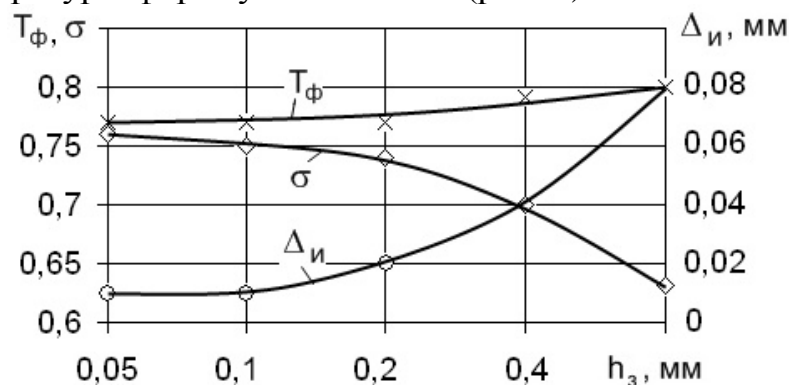


Рисунок 3 - Влияние переднего угла на напряжения, силу P_y и связанные с ней отклонения

Уменьшение переднего угла γ также повышает сопротивление режущего лезвия пластическим деформациям, однако при этом возрастают силы резания и вызванные ими отклонения обработанной поверхности ($\Delta_p = 0,2 - 0,3 \text{ мм}$). Кроме того, с уменьшением переднего угла резко возрастает склонность к возникновению вибраций. В связи с этим целесообразно применять либо небольшие положительные ($\gamma = 10^\circ$) либо нулевые передние углы.

Наблюдения за износом режущих пластин показали, что увеличение радиуса при вершине резца втрое (от 4 до 12 мм) в некоторой окрестности вершины резца (1,5-2)s примерно в 1,5 раза уменьшает коэффициент неравномерности износа (рис. 4), что обеспечивает соответствующее увеличение стойкости инструмента или пройденного вершиной пути резания. Кроме того, это способствует примерно двукратному уменьшению шероховатости обработанной поверхности.

Также установлено, что для обеспечения допуска радиального биения (2Δ) равного 0,3 мм при увеличении твердости колеса НВ от 2850 до 3600 МПа, необходимо снижать частоту вращения как на черновом (табл.1), так и на чистовом (табл.2) проходах.

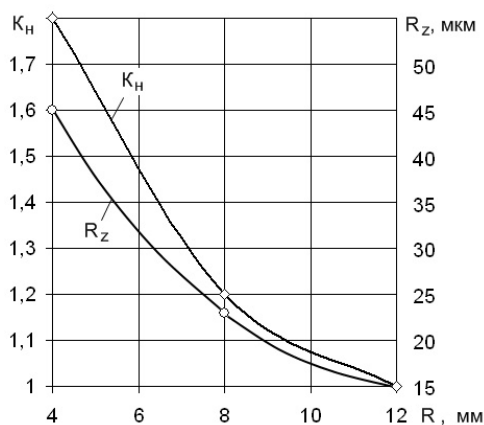


Рисунок 4 - Влияние радиуса при вершине на коэффициент неравномерности износа режущего инструмента и на шероховатость обработанной поверхности

Таблица 1
Черновой проход (призматическая пластина)

Твердость НВ, МПа	t , мм	s , мм/об.	n , об./мин	$T_{\text{маш.}}$, мин	S_m , мм/мин	N , кВт	$M_{\text{кр.}}$, кН·м
2850	8	1,2	8,3	10	10	2x41	14
3200	8	1,2	5,8	14	7	2x32	15
3600	8	1,2	4,2	20	5	2x25	16

Уменьшение отклонений обработанной поверхности при использовании призматических режущих пластин позволило обосновать уменьшение припусков на чистовой проход, выполняемый круглыми (чашечными) режущими пластинами. Установлено, что при обработке поверхности катания на чистовом проходе, выполняемым круглыми (чашечными) режущими пластинами, припуск не должен превышать 0,5 – 0,7 мм (табл. 2). При этом даже при увеличении подачи до 2 мм/об., наибольшая толщина срезаемого слоя ($a \approx 0,45$ мм) примерно вдвое меньше, чем при резании призматическими пластинами.

Таблица 2
Чистовой проход (чашечная пластина)

Твердость НВ, МПа	t , мм	s , мм/об.	n , об./мин	$T_{\text{маш.}}$, мин	S_m , мм/мин	N , кВт	$M_{\text{кр.}}$, кН·м
2850	0,6	2	18	5,6	36	2x10	2,4
3200	0,6	2	14,5	6,9	29	2x10	2,7
3600	0,5	2	12,5	8	25	2x10	2,5

Также выявлено, что применение чашечных пластин на чистовом проходе обеспечивает существенное увеличение производительности и благодаря

большим радиусам при вершине ($r \approx 14 \text{ мм}$) достигается требуемая шероховатость обработанной поверхности $R_z < 40 \text{ мкм}$ (см. рис.4).

В ходе производственных испытаний спроектированных режущих пластин с рекомендуемыми режимами резания выявлено увеличение их износостойкости в 1,5 – 2,0 раза при обеспечении требований к точности и шероховатости обработанной поверхности железнодорожного колеса. В ряде случаев это позволило исключить необходимость выполнения второго (чистового) прохода для обеспечения требований к точности обработанной поверхности катания и, тем самым, сократить машинное время обработки в 2 раза.

Библиографический список:

1. Васин, С.А. Резание материалов: Термомеханический подход к системе взаимосвязей при резании/ С.А.Васин, А.С.Верещака, В.С.Кушнер.: Учеб. для техн. вузов. -М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2001.-448 с.
2. Воробьев, А.А. Разработка рекомендаций по режимам обработки колёсных пар повышенной твёрдости / А.А. Воробьев, И.А. Иванов, В.С. Кушнер, А.А. Крутько // Транспорт Урала. – 2009. – Вып.2. (21). – С. 48 – 51
3. Крутько, А. А. Повышение эффективности восстановительной токарной обработки железнодорожных колёсных пар: монография / А.А. Крутько, В.С. Кушнер, А.А. Воробьев – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2013. –170 с.
4. Резницкий, Л.М. Механическая обработка закаленных сталей / Л.М. Резницкий. – М.: МАШГИЗ, 1958. – 399 с.