

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Янгулов В.С. Редуктор системы автоматического регулирования повышенной долговечности: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Томск, 1984. – 24 с.
2. А.с. 154746 СССР. МКИ<sup>3</sup> F16H 1/00. Волновая передача / В.С. Янгулов и др. Заявлено 20.12.1978; Зарегистр. 2.02.1981.
3. А.с. 115074 СССР. МКИ<sup>3</sup> G01C 19/08. Привод рамок карданова подвеса гиросtabilизатора / В.С. Янгулов и др. Заявлено 20.06.1977; Зарегистр. 7.04.1978.
4. А.с. 135850 СССР. МКИ<sup>3</sup> G01C 19/08. Привод рамок карданова подвеса гиросtabilизатора / В.С. Янгулов и др. Заявлено 26.03.1979; Зарегистр. 6.10.1979.
5. А.с. 170753 СССР. МКИ<sup>3</sup> G01C 19/08. Привод рамок карданова подвеса гиросtabilизатора / В.С. Янгулов и др. Заявлено 19.05.1981; Зарегистр. 5.03.1982.
6. А.с. 202396 СССР. МКИ<sup>3</sup> F16H 1/00. Волновая передача / В.С. Янгулов. Заявлено 13.06.1983; Зарегистр. 27.04.1984.
7. А.с. 212950 СССР. МКИ<sup>3</sup> F16H 1/00. Волновая передача / В.С. Янгулов. Заявлено 19.03.1984; Зарегистр. 27.12.1984.
8. А.с. 315418 СССР. МКИ<sup>3</sup> F16H 1/00. Волновая передача / В.С. Янгулов и др. Заявлено 20.01.1988; Зарегистр. 1.07.1990.
9. А.с. 317718 СССР. МКИ<sup>3</sup> F16H 1/00. Волновая передача / В.С. Янгулов и др. Заявлено 20.01.1988; Зарегистр. 3.09.1990.

Поступила 26.12.2006 г.

УДК 621.9.02

**ПОИСК ОПТИМАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ СБОРНЫХ СВЕРЛ СО СМЕННЫМИ МНОГОГРАННЫМИ ПЛАСТИНАМИ ПРИ СВЕРЛЕНИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ РЕЛЬСОВ**

А.А. Баканов

Томский политехнический университет  
E-mail: alekbakanov@yandex.ru

*Предложена методика силового анализа сборных сверл со сменными многогранными пластинами при сверлении железнодорожных рельсов, которая позволила повысить работоспособность инструмента. Методика основана на суммировании удельных составляющих силы резания по длине рабочих участков режущих кромок пластин. Повышение работоспособности достигается за счет уменьшения радиальных составляющих силы резания от каждой из пластин.*

18 декабря 2000 г. введен в действие новый стандарт ГОСТ Р 51685-2000 «Рельсы железнодорожные» (общие технические условия) взамен ГОСТ 24182-80 (СТ СЭВ 4983-85) «Рельсы железнодорожные широкой колеи типов Р75, Р65 и Р50 из мартеповской стали» (технические условия). В связи с этим металлургические комбинаты Российской Федерации стали выпускать объемно-закаленные рельсы, твердость шейки у которых достигает 388 НВ. Это привело к использованию для сверления рельсов сборных сверл с механическим креплением сменных многогранных пластин (СМП) из твердого сплава, рис. 1, 2. Однако, при сверлении рельсов в полевых условиях, которое выполняется рельсосверлильными машинками моделей СТР-1, СТР-2, 3023, 3028, указанные сверла обнаруживают низкую работоспособность.



Рис. 1. Общий вид сверла с СМП

Для выяснения причин низкой работоспособности сверл с СМП был выполнен анализ геометрических параметров режущих пластин. Установлено,

что рассматриваемые сверла имеют неблагоприятные для протекания процесса сверления геометрические параметры: статического переднего  $\gamma_c$ , заднего  $\alpha_c$  угла и угла наклона режущей кромки  $\lambda_c$  [1–3].

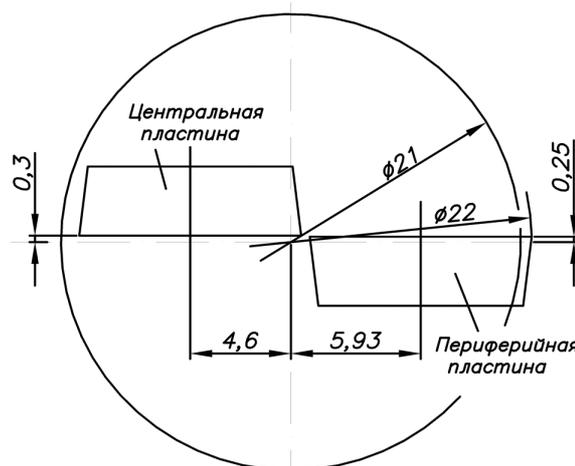


Рис. 2. Схема расположения СМП на сверле

Далее с целью оценки причин низкой работоспособности сверл с СМП выполнен анализ сил, действующих в процессе сверления. Для расчета составляющих силы резания была использована методика, основанная на суммировании удельных сил, действующих на единицу длины режущих кро-

мок сверла [3, 4]. Данные об удельных силах берутся из экспериментов по точению соответствующих материалов инструментом с геометрией, найденной при геометрическом анализе режущих пластин сверла. В соответствии с этой методикой режущие кромки пластин разбиваются на участки равной длины (рис. 3) и для каждого участка с учетом статических геометрических параметров определяются величина и направление действия составляющих силы резания.

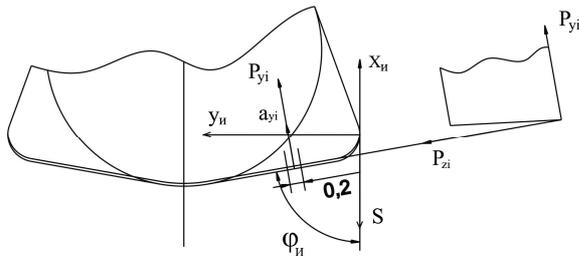


Рис. 3. Схема разбиения режущей кромки пластины для определения элементарных составляющих силы резания

Суммарные составляющие силы резания на всей длине режущей кромки определялись по формулам:

$$P_z = \sum_{i=1}^n P_{yi} \cos \varphi_{ni} \cdot \sin \gamma_{yi} - P_{zi} \cdot \cos \gamma_{yi};$$

$$P_y = \sum_{i=1}^n P_{yi} \cos \varphi_{ni} \cdot \cos \gamma_{yi} + P_{zi} \cdot \sin \gamma_{yi},$$

где  $P_{yi}$ ,  $P_{zi}$  – соответственно радиальная и тангенциальная составляющая силы резания в инструментальных координатах, приходящаяся на единицу длины режущей кромки;  $\varphi_{ni}$  – угол в плане в инструментальной системе координат;  $\gamma_{yi}$  – фронтальный угол ориентации СМП.

В связи с тем, что в каждой точке режущей кромки геометрические параметры и скорость резания различны, для определения  $P_{yi}$  и  $P_{zi}$  необходимо знать значения составляющих силы резания с учетом этих параметров и скорости резания, т. е. иметь зависимость  $P_{yi} = f(\alpha_c, \gamma_c, \lambda_c, V)$  и  $P_{zi} = f(\alpha_c, \gamma_c, \lambda_c, V)$ . Для установления этих зависимостей был проведен ряд экспериментов по точению закаленной стали 40Х твердостью 368 НВ инструментом с геометрическими параметрами, соответствующими параметрам сборного сверла (рис. 2).

С использованием результатов этих экспериментов расчетом установлено, что при сверлении сверлами рассматриваемой конструкции возникает значительная неуравновешенная радиальная сила (эпюры распределения  $P_y$  и направление действия представлены на рис. 4), которая в условиях низкой жесткости технологической системы рельсосверлильной машинки вызывает колебания сверла и повышенный износ его режущих пластин. По результатам экспериментального исследования были получены составляющие силы резания, действующие на сверло:  $P_z = 196$  Н,  $P_y = 869$  Н,  $P^z = 890$  Н. Оче-

видно, что для повышения работоспособности сверл необходимо стремиться к тому, чтобы неуравновешенная радиальная сила была равна нулю.

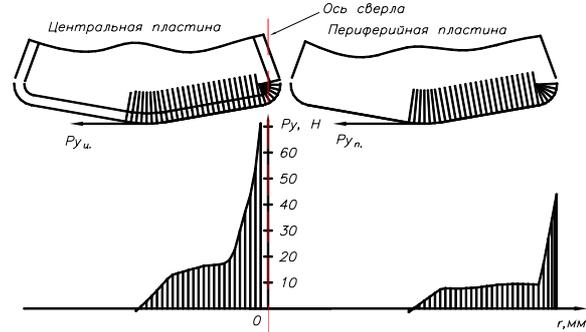


Рис. 4. Эпюры распределения составляющей силы резания  $P_y$  по длине рабочих участков режущих кромок пластин

Анализ показал, что минимизировать радиальную силу можно:

- взаимным выдвигением пластин вдоль оси сверла;
- взаимным разворотом пластин в корпусе сверла на угол  $\psi$ ;
- изменением формы режущих кромок пластин и конструкции корпуса сверла.

**Взаимное выдвигение пластин вдоль оси сверла.** Для компенсации тангенциальной составляющей силы резания  $P_z$ , действующей на сверло, необходимо изменить ширину срезаемого каждой пластиной слоя. При неизменных геометрических параметрах и конструкции сверла этого можно добиться взаимным выдвигением пластин  $\Delta x$  вдоль оси  $X$  (рис. 5).

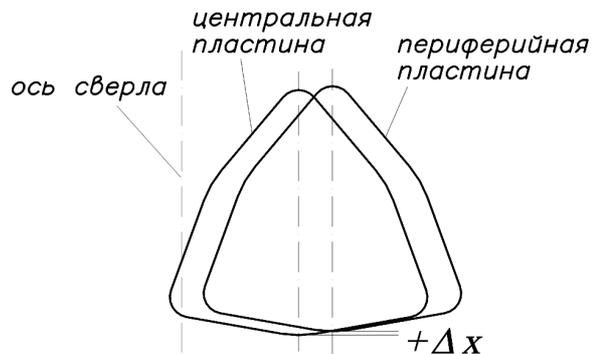


Рис. 5. Взаимное выдвигение пластин вдоль оси  $X$

В результате анализа установлено, что при  $\Delta x = 0,12$  мм тангенциальная составляющая силы резания  $P_z \approx 0$ . При этом радиальная сила уменьшается не более, чем на 10 %.

**Взаимный разворот пластин в корпусе сверла на угол  $\psi$ .** Для минимизации суммарной силы резания, действующей на сверло, необходимо взаимно развернуть пластины на угол  $\psi$  (рис. 6). Для определения значения угла  $\psi$ , при котором  $P^z \rightarrow \min$ ,

необходимо чтобы  $\frac{dP^z}{d\psi} = 0$  [5].

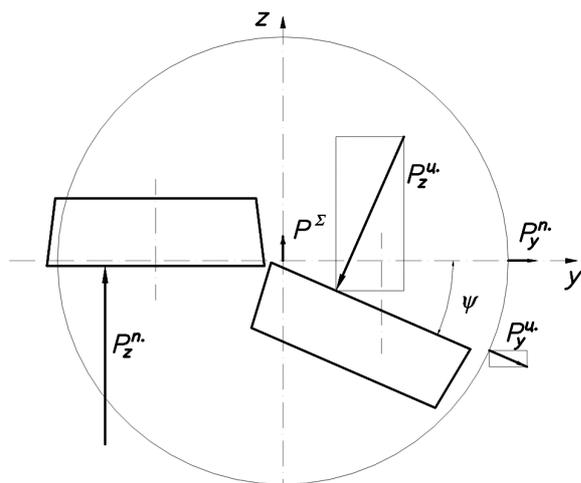


Рис. 6. Взаимный разворот пластин для минимизации суммарной силы резания на сверле

Из рис. 6 следует:

$$(P^\Sigma)^2 = (P_y^\Sigma)^2 + (P_z^\Sigma)^2,$$

где

$$\begin{cases} P_y^\Sigma = P_y^H - P_z^H \cdot \sin \psi + P_y^U \cdot \cos \psi \\ P_z^\Sigma = P_z^H - P_z^H \cdot \cos \psi - P_y^U \cdot \sin \psi \end{cases}$$

здесь  $P_y^H, P_z^H$  и  $P_y^U, P_z^U$  – радиальная и тангенциальная составляющие силы резания на периферийной и центральной пластинах [6].

Для базовой конструкции сверла, при развороте пластин на угол  $\psi=23^\circ 12'$  суммарная радиальная сила уменьшается с 890 до 90 Н.

**Изменение формы режущих кромок пластин и конструкции корпуса сверла.** Невысокая жесткость технологической системы также отрицательно сказывается на работоспособности пластин в процессе врезания. Как видно из рис. 7, в процессе врезания на сверло действует изменяющаяся по модулю и направлению результирующая сила резания  $P^\Sigma$ , которая приводит к колебаниям сверла и отклонению от цилиндричности получаемого заходного отверстия.

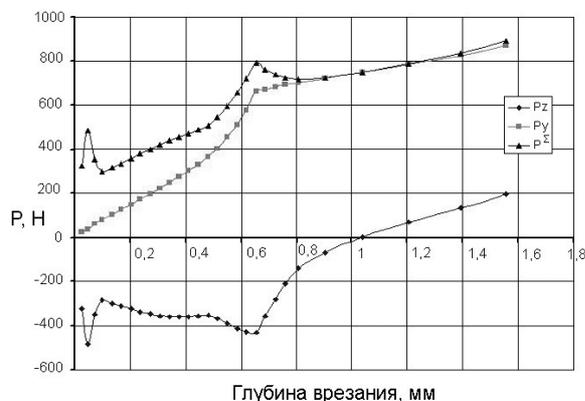


Рис. 7. Зависимость составляющих силы резания обеих пластин стандартного сверла от глубины врезания

Для уменьшения колебаний результирующей силы резания необходимо, чтобы на каждом элементарном рабочем участке режущей кромки выполнялось условие  $P_i^\Sigma \rightarrow \min$ . Для этого на каждом элементарном рабочем участке режущей кромки (длина участка 0,2 мм) следует сформировать угол  $\lambda_{\Gamma i}$  (в плоскости резания) таким образом (рис. 8), чтобы выполнялось условие

$$P_{yi} + P_{zi} \cdot \sin \lambda_{\Gamma i} \cdot \cos \lambda_{\Gamma i} = 0.$$

Отсюда 
$$\lambda_{\Gamma i} = -\frac{1}{2} \cdot \arcsin \frac{2 \cdot P_{yi}}{P_{zi}}.$$

Из этого уравнения следует, что радиальная сила резания может быть равна нулю, при условии  $P_{yi} \leq 0,5 \cdot P_{zi}$ . Далее не представляет труда найти соответствующий профиль передней поверхности пластин.

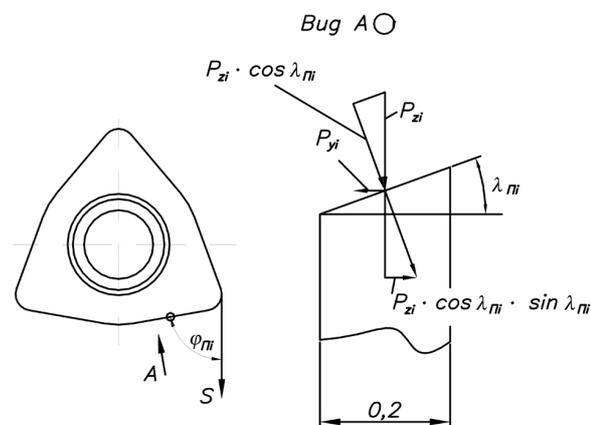


Рис. 8. Схема действия сил на элементарный участок режущей кромки, наклоненный под углом  $\lambda_{\Gamma i}$

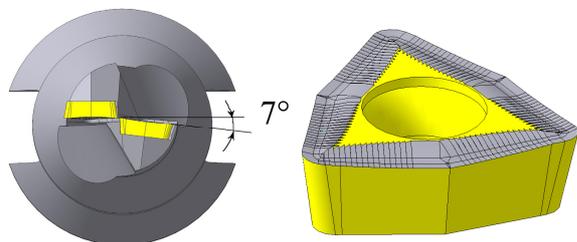
При врезании сверла существуют участки режущих кромок СМП, которые работают не одновременно (радиусный участок периферийной пластины и центральный, наиболее выступающий вдоль оси X, участок центральной пластины) и работающие одновременно (прямолинейные участки обеих пластин).

На участках, работающих не одновременно, минимизировать  $P^\Sigma$  следует за счет взаимного разворота пластин на угол  $\psi$ .

На участках, работающих одновременно на каждом элементарном участке обеих пластин (располагающиеся на одном уровне по оси X), необходимо сформировать угол  $\lambda_{\Gamma i}$  таким образом, чтобы  $P_i^\Sigma \rightarrow \min$  (при этом значение  $\psi$  найдено на предыдущем шаге). Для этого вначале находим значение  $\psi$ , при котором  $\frac{dP^\Sigma}{d\psi} = 0$  на участках, работающих не одновременно ( $\lambda_{\Gamma i} = 0$ ). Затем на каждом элементарном участке (на обеих пластинах) находим значение  $\lambda_{\Gamma i}$ , при котором  $\frac{dP^\Sigma}{d\lambda_{\Gamma i}} = 0$  (здесь

$$P^\Sigma = f(P_y^H, P_z^H, P_y^U, P_z^U, \psi, \lambda_{\Gamma i}).$$

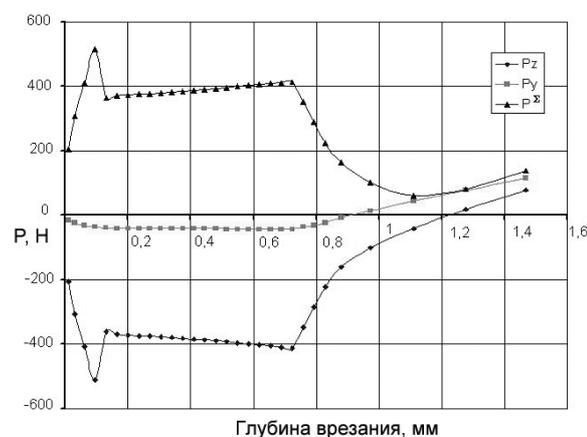
По рассмотренной методике была определена форма режущих кромок обеих СМП сборного сверла (рис. 9), позволяющая минимизировать результирующую силу резания как в процессе врезания, так и при установившемся режиме сверления (рис. 10).



**Рис. 9.** Форма режущих кромок и взаимная ориентация пластин, при которой результирующая сила резания минимальна как при врезании, так и при сверлении всей шириной режущих кромок

Таким образом, установлены пути совершенствования конструкции с целью повышения работоспособности сборных сверл со сменными многогранными пластинами. Повышение работоспособности достигается за счет уменьшения радиальных составляющих

силы резания от каждой из пластин как в процессе врезания, так и при установившемся процессе сверления. Это особенно важно при работе на станках с нежесткой технологической системой.



**Рис. 10.** Зависимость составляющих силы резания обеих пластин сверла от глубины врезания. Параметры сверла:  $\Delta x=0,12$  мм (центральная пластина выдвинута вперед вдоль оси X),  $\gamma_n=5^\circ$ . Обе пластины лежат на оси. Взаимный угол разворота пластин  $\psi=7^\circ$

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петрушин С.И. Основы формообразования резанием лезвийными инструментами. – Томск: Изд-во НТЛ, 2004. – 204 с.
2. Баканов А.А. Статические геометрические параметры сверла с СМП // Современные наукоемкие технологии. – 2006. – № 6. – С. 43.
3. Баканов А.А., Петрушин С.И. Работоспособность сверл с СМП при сверлении железнодорожных рельсов // Современные проблемы машиностроения: Труды III Междунар. научно-техн. конф. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006. – С. 186–189.
4. Баканов А.А. Определение силы резания при сверлении сверлами с СМП // *Фундаментальные исследования*. – 2006. – № 6. – С. 49.
5. Геворкян П.С. Высшая математика. Основы математического анализа. – М.: Физматлит, 2004. – 239 с.
6. Поляхов Н.Н., Зегжда С.А., Юшков М.П. Теоретическая механика. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 2000. – 592 с.

Поступила 24.11.2006 г.