

УДК 622.276

Ю.И. Некрасов

ДЕФОРМИРОВАНИЕ И РАЦИОНАЛЬНОЕ НАГРУЖЕНИЕ СМЕННЫХ РЕЖУЩИХ ПЛАСТИН СБОРНОГО ИНСТРУМЕНТА

Работоспособность сборного инструмента в значительной мере обусловлена разрушением сменных режущих пластин (СРП) под действием сложной системы силовых и температурных нагрузок, что в условиях производства проявляется при механообработке высокопрочных труднообрабатываемых материалов, сопровождающейся поломками инструмента. Практика эксплуатации инструмента, оснащенного СРП (с износостойкими покрытиями включительно), и проведенные исследования показывают, что поломки и прочность сборного инструмента определяется напряженно-деформированным состоянием элементов конструкций под действием сил резания и сил закрепления режущих пластин [1]. С целью совершенствования конструктивного исполнения и установления рациональных схем нагружения СРП при проведении исследований распределения напряжений в элементах конструкций сборного инструмента использованы интерференционные картины полос, представленные на рис. 1.

Получение интерферограмм и экспериментальные исследования с использованием метода

лазерной нанометрии проводились с учетом многообразия форм СРП и схем их нагружения силами закрепления и силами контактного взаимодействия с деформируемым в процессе резания обрабатываемым материалом. В результате проведенных исследований установлено, что наличие центрального отверстия, используемого для базирования и закрепления режущих пластин в корпусе сборного инструмента, оказывает существенное влияние на характер распределения напряжений в СРП. Изменение формы СРП и схем их нагружения проявляется в представленных на рис. 1 интерференционных картинах полос $(\sigma_1 - \sigma_2) = const$, соответственно, на многогранных, круглых режущих пластинах и элементах конструкций сборного инструмента. Расчеты распределения напряжений в СРП при различных схемах их нагружения показали, что для многогранных режущих пластин наиболее опасными с точки зрения прочности чаще всего являются напряжения растяжения σ_1 , действующие вдоль главной режущей кромки. Для СРП круглой формы, помимо того, опасными являются напряжения растяжения, возникающие

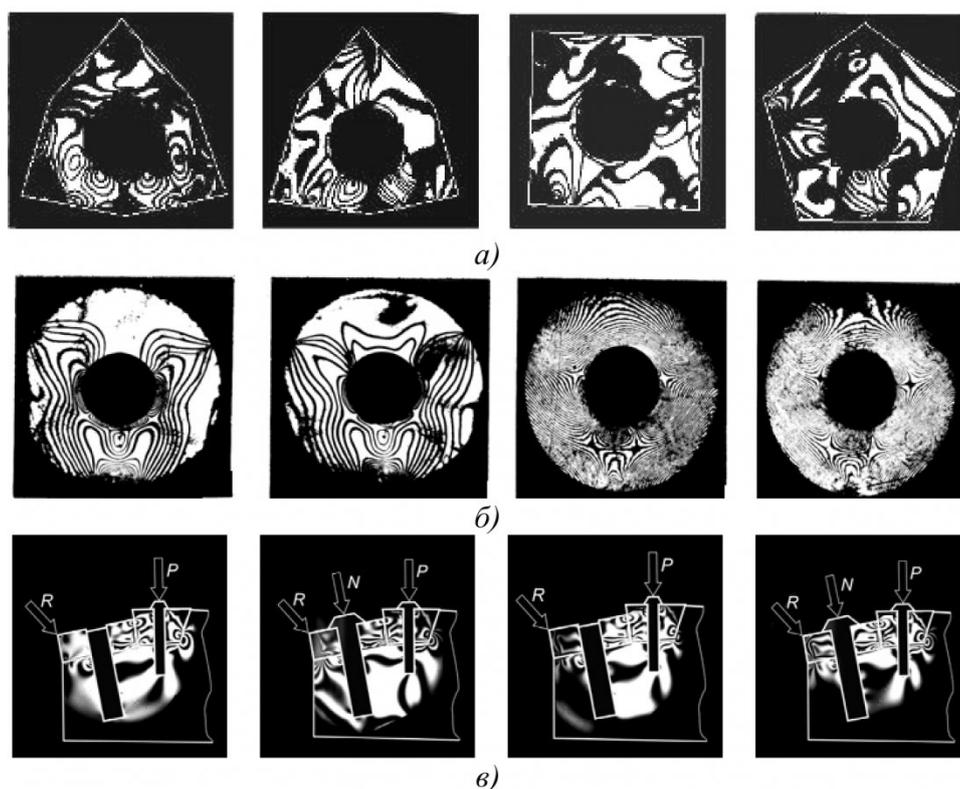


Рис.1. Интерференционные картины полос в многогранных (а), круглых (б) сменных режущих пластинах и элементах конструкций (в) сборного инструмента при различных схемах нагружения СРП

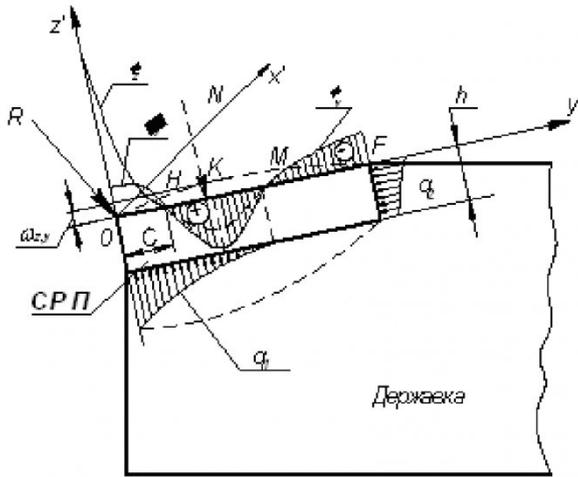


Рис. 2. Схема нагружения и деформирования сменных режущих пластин в корпусе сборного инструмента

- R - сила резания;
- ω - прогиб пластины в расчетной точке;
- q_1 - контактные напряжения на опорной поверхности СРП;
- q_2 - контактные напряжения на боковой поверхности СРП;
- N - сила закрепления СРП;
- h - высота сменной режущей пластины (СРП)

на контуре центрального отверстия.

На основе анализа интерферограмм в элементах сборных конструкций и режущих пластинах, полученных в ходе экспериментально-теоретических исследований, разработана представленная на рис. 2 модель нагружения и деформирования СРП при различных условиях их базирования и закрепления в корпусе сборного режущего инструмента.

Анализ деформирования СРП сборного инструмента при его нагружении силами контактного взаимодействия с обрабатываемым материалом с учетом сил закрепления пластины в корпусе сборного инструмента показал, что помимо деформирования в плоскости СРП имеет место показанный на рис. 2 изгиб $\omega(z,y)$ пластин под действием силы резания R . Кроме того, установлено, что приложение силы крепления N по нормали к передней поверхности СРП приводит к снижению величин ее прогибов $\omega(z,y)$ и к соответствующему снижению растягивающих напряжений на передней поверхности режущей пластины.

Анализ напряженно-деформированного состояния режущих пластин с использованием положений теории Рейснера (т. е. с учетом равенства прогибов плиты и упругого основания) при исследованных схемах нагружения показал, что характер деформирования СРП близок к цилиндрическому изгибу. При этом разрешающие уравнения, описывающие напряженное состояние режущей пластины через функцию напряжений F и прогибы $\omega(z,y)$, записываются в виде:

$$\frac{D}{h} \nabla \nabla \omega + k \omega = \frac{\partial^2 F}{\partial y^2} \frac{\partial^2 \omega}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 F}{\partial z^2} \frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} - 2 \frac{\partial^2 F}{\partial z \partial y} \frac{\partial^2 \omega}{\partial y \partial z} - \frac{q_L}{h} \quad (1)$$

$$\frac{1}{E} \nabla \nabla F = \left(\frac{\partial^2 \omega}{\partial z \partial y} \right) - \frac{\partial^2 \omega}{\partial z^2} \cdot \frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2}, \quad (2)$$

где k - коэффициент жесткости упругого основания;

ω - величина прогибов режущей пластины в расчетных точках;

F - функция напряжений;

D - цилиндрическая жесткость режущей пластины;

E - модуль упругости инструментального материала;

h - высота режущей пластины.

С использованием экспериментальных данных о распределении прогибов $\omega(z,y)$, а также зависимостей (1,2) установлено распределение составляющих напряжений $\sigma_z, \sigma_y, \tau_{zy}$, а также главных напряжений $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ на передней поверхности СРП [2]. Сравнение напряженно-деформированного состояния многогранных режущих пластин с отверстием при их нагружении по двум схемам: с креплением пластин клином (схема ВНИИ) и креплением в закрытом угловом пазу при приложении усилия закрепления N в направлении, перпендикулярном их передней поверхности (схема ТюмГНГУ) показало, что во втором случае распределение напряжений в твердосплавных пластинах более благоприятное с точки зрения их прочности. Расчеты и последующая экспериментальная проверка показали, что приложение нагрузки $N = (0,7 - 0,8) P_{z \max}$ дает возможность увеличить допускаемые при резании толщины среза на 18 - 25% и тем самым повысить допускаемую прочностью СРП силу резания $P_{z \max}$, максимально допустимое сечение среза $(a \times b)_{\max}$, производительность и технологическую эффективность обработки.

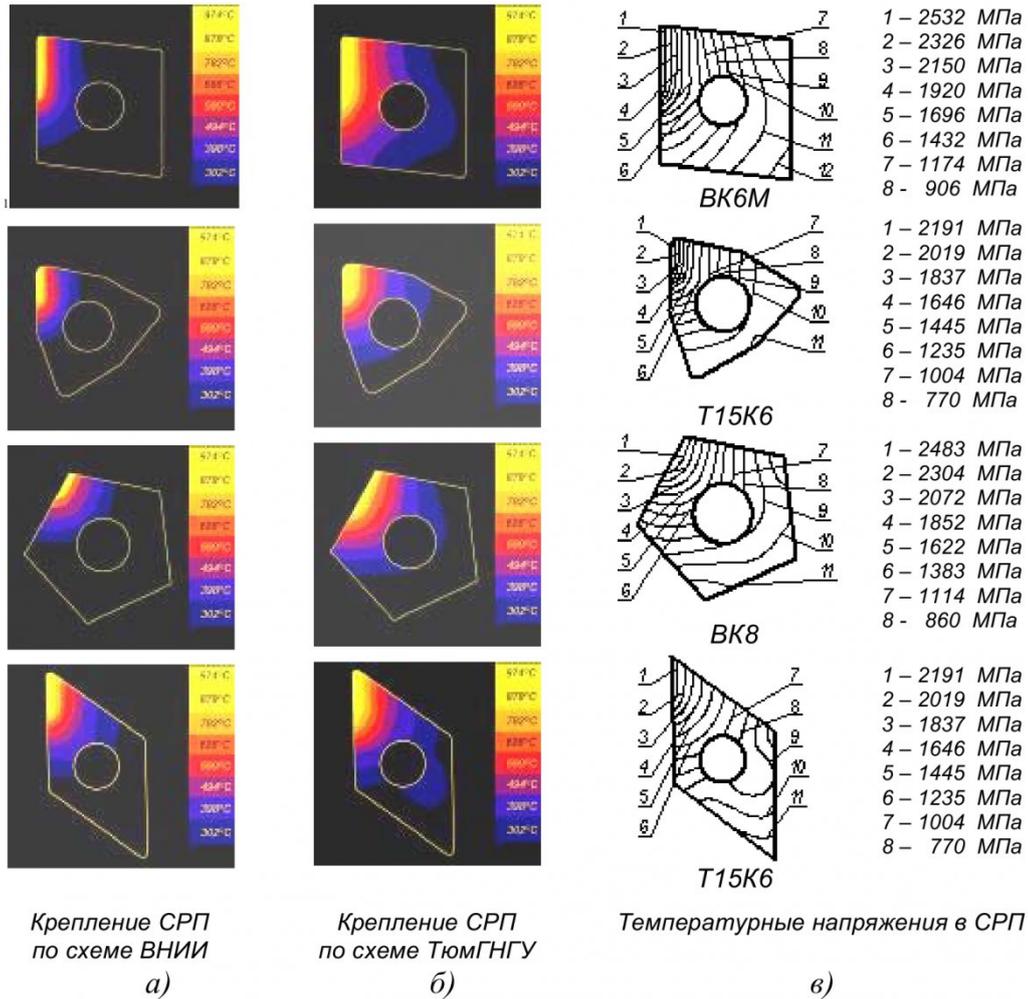


Рис. 3. Схемы температурного нагружения сменных режущих пластин

Для оценки значимости температурного фактора проведено исследование распределения температур в СРП с использованием метода ИК-термометрии. При этом непосредственно в процессе точения жаропрочных сталей и сплавов производилась регистрация тепловых полей СРП с использованием цифровой камеры мод. «Cyber-shot DSC-F707» в диапазоне длин волн ИК-излучения 0,9-1,4 мкм. На рис. 3 представлены термограммы, характеризующие распределение температур в СРП при различных схемах их базирования и закрепления.

Температурные напряжения σ_T в сменных режущих пластинах определялись с использованием зависимостей вида [3]:

$$\sigma_T = \mu(\sigma_1 - \sigma_2) - \alpha_T \cdot E(\theta_{рез} - \theta_0), \quad (3)$$

где μ - коэффициент Пуассона;

σ_1, σ_2 - главные напряжения в СРП;

α_T - коэффициент линейного температурного расширения инструментального материала;

$(\theta_{рез} - \theta_0)$ - разность температуры резания и

окружающей среды.

На рис. 3в приведены результаты расчётов температурных σ_T напряжений в СРП. Сравнение полученных экспериментальных данных показало, что крепление СРП с прижатием их сверху к опорной поверхности гнезда в корпусе сборного инструмента (по схеме ТюмГНГУ) при изменении режимов резания и равных температурах резания ($\theta_{рез} = const$) обеспечивает более равномерное (до 20%) распределение в них температур, что приводит к снижению градиента температур и температурных напряжений (по сравнению со схемой ВНИИ). При анализе силовых и температурных деформаций СРП выявлена необходимость учета изменений физико-механических и теплофизических свойств инструментальных материалов в процессе резания. Установлено, что оценка работоспособности инструмента в условиях нестационарного резания предопределяет необходимость перерасчета распределения деформаций и напряжений в СРП с учетом нелинейности температурных изменений модуля упругости E , коэффициента Пуассона μ и других прочност-

ных параметров инструментальных металлокерамических твердых сплавов WC-Co, WC-TiC-Co и др.

Проведенная оценка работоспособности режущего инструмента показала эффективность предложенной ТюмГНГУ схемы крепления СРП с точки зрения снижения температур при резании за счёт лучшего теплоотвода в корпус сборного режущего инструмента за счет плотного прилегания СРП по опорной поверхности в гнезде державки. На основании проведенных исследований [4] в результате анализа схем деформирования и нагружения СРП предложены конструкции сборного режущего инструмента, защищенные патентами и авторскими свидетельствами на изобретения: № 2309818, № 2309819, № 2311990, № 2311992, № 71281, № 70834. Реализация выполненных разработок в условиях производства деталей авиадвигателей

при точении жаропрочных сталей и сплавов Х12Н22Т3МР, ХН56ВМТЮ-ВД, 35ХНМА, Х16Н25Г7АР за счет рационального нагружения и снижения напряжений изгиба режущей пластины обеспечила повышение прочности и работоспособности инструмента, оснащенного СРП из металлокерамических твердых сплавов Т15К6, ВК6, ВК8.

Внедрение на предприятиях авиационного, энергетического и нефтегазового машиностроения сборных конструкций, в которых реализованы разработанные схемы нагружения сменных режущих пластин, позволило увеличить допускаемые при резании толщины среза на 18 - 25% и при снижении в 1,6 - 2,9 раза частоты поломок СРП, а также повысить работоспособность твердосплавного сборного инструмента в условиях нестационарного резания жаропрочных сталей и сплавов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Артамонов Е.В. Прочность и работоспособность сменных твердосплавных пластин сборных режущих инструментов. - Тюмень: ТюмГНГУ, 2003. - 192 с.
2. Утешев М.Х. Измерение в пластинах поперечных деформаций с высоким градиентом / М.Х. Утешев, Ю.И. Некрасов, Е.В. Артамонов // Заводская лаборатория. - М., 1977. - №7. - С. 889-891.
3. Остафьев В.А. Расчет динамической прочности режущего инструмента. - М.: Машиностроение, 1979. - 168 с.
4. Некрасов Ю.И. Лазерная нанометрия деформирования режущего инструмента. - Тюмень: ТюмГНГУ, 2008. - 158 с.

□ Автор статьи:

Некрасов
Юрий Иннокентьевич
- канд.техн.наук., проф. каф. «Технология
машиностроения» (Тюменский государственный
нефтегазовый университет)
Тел. (3452) 36-14-78.
E-mail: syncler@mail.ru.

УДК 622.276

Ю.И. Некрасов

ДИАГНОСТИКА ДЕФОРМИРОВАНИЯ СРЕЗАЕМОГО СЛОЯ И УПРАВЛЕНИЕ НАГРУЖЕНИЕМ ИНСТРУМЕНТА ПРИ ТОЧЕНИИ НА СТАНКАХ С ЧПУ

На предприятиях авиастроения, энергетического, нефтегазового машиностроения и др. при обработке на станках с ЧПУ характерных для этих отраслей трудоемких в изготовлении фасонных деталей точение сферических, торовых, конических и торцовых поверхностей происходит в условиях нестационарного резания. При этом непосредственно в процессе формообразования фасонных поверхностей изменяется диаметр D обработки, скорость V и глубина t резания, толщина a и ширина b среза, форма и размеры сечения ($a \times b$) срезаемого слоя, а также изменяются соотношения величин продольных и поперечных подач.

В условиях нестационарного резания изменяются контактные нагрузки на рабочих поверхно-

стях инструмента в сочетании с характерным для точения жаропрочных сталей и сплавов переходом от сливной к образованию суставчатой стружки приводит к выкрашиваниям, микро- и макросколам, к накоплению повреждений в виде разрушений режущих лезвий и нерегламентированным отказам инструмента. Преимущественным видом отказов твердосплавного инструмента при нестационарном резании становится разрушение его режущих лезвий, которое в условиях производства сопровождается увеличением трудоемкости обработки и инструментальных расходов, а также потерями по браку и простоям дорогостоящего автоматизированного технологического оборудования с ЧПУ.