

РАСЧЕТ НАПРЯЖЕННОГО И ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЙ НА РЕЖУЩИХ ЗУБЬЯХ МЕТЧИКА С ВНУТРЕННИМ РАЗМЕЩЕНИЕМ СТРУЖКИ ПРИ РЕВЕРСЕ

Разработаны конечно-элементные модели режущей части стандартных метчиков с внутренним размещением стружки для проведения сравнительных расчетов. Приведен алгоритм получения исходных данных для реализации расчетов.

Одной из распространенных причин отказов при нарезании резьбы стандартными метчиками является их заклинивание и разрушение при реверсе из-за попадания стружки под заднюю поверхность инструмента.

Опыт применения метчиков с внутренним размещением стружки (МВРС) показал (рис. 1), что такие метчики ломаются реже, так как стружка размещается во внутренней полости и снижается вероятность ее попадания под затылок зуба метчика. Метчики с внутренним размещением стружки имеют другие эксплуатационные преимущества по сравнению со стандартными метчиками. Однако рекомендации по расчету и обоснованию размеров конструктивных элементов МВРС отсутствуют, что, в свою очередь, сдерживает их широкое применение.

Цель настоящей статьи — обоснование повышения работоспособности метчиков новой конструкции, причем критерием оценки работоспособности будет служить отсутствие заклинивания и выкрашивания режущих кромок метчика при реверсе.

При обратном ходе метчика каждый зуб на его режущей части должен пройти зону, где остались корни стружки от последующего зуба (рис. 2, а), и каким-либо образом смять их. При этом на режущую кромку со стороны задней поверхности будет действовать давление q (рис. 2, б), необходимое для смятия стружки зубом. Вследствие

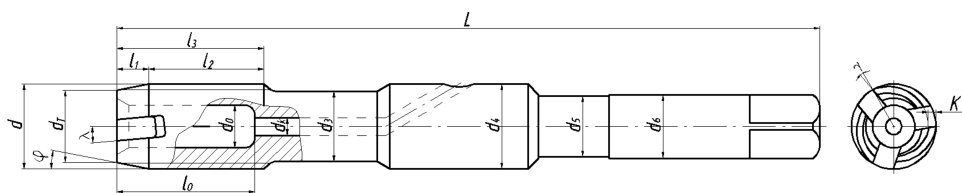


Рис. 1. Конструктивные элементы метчика с внутренним размещением стружки

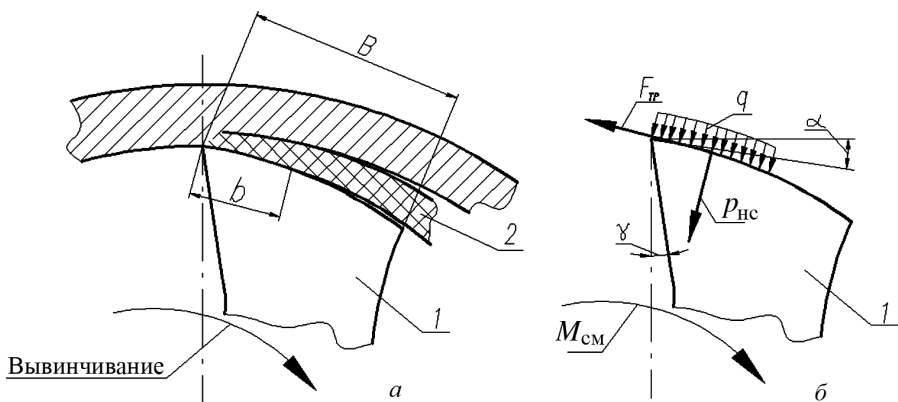


Рис. 2. Схема образования корней стружек при нарезании глухих резьб (а) и схема сил, действующих на зуб метчика (б)

небольшой ширины контактной площадки b , а также невозможности определения функции распределения давления по задней поверхности принимаем, что давление на контактной площадке распределяется равномерно. При достижении определенного значения давление q может оказаться достаточным для выкрашивания режущей кромки.

Схема сил, действующих на элементарный зуб метчика, приведена на рис. 2, где обозначено: 1 – элементарный зуб; 2 – стружка; $M_{см}$ – крутящий момент, необходимый для смятия корней стружек, Н·мм; $p_{нс}$ – нормальная сила, Н; $F_{тр}$ – сила трения, Н; q – давление, МПа; b – ширина площадки контакта задней поверхности со стружкой, мм; B – ширина зуба; γ и α – передний и задний углы.

Для расчета напряженно-деформированного состояния режущей части метчиков использован метод конечных элементов [1], реализованный в программном комплексе ANSYS [2]. Данную задачу будем решать в области упругих деформаций, где для стали Р6М5 модуль Юнга $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа [3].

Давление на задней поверхности инструмента определяется по зависимости

$$q = \frac{2M_{см}}{d_2 S z \mu},$$

где d_2 – средний диаметр резьбы, мм; S – суммарная площадь поверхности контакта между материалом и инструментом при реверсе, мм²; z – число зубьев метчика; μ – коэффициент трения между материалом и инструментом.

Для получения исходных данных определяли момент смятия стружки $M_{см}$. Эксперименты проводили при нарезании резьбы М12×1,5 в глухом отверстии длиной $l_p = 24$ мм в заготовке из конструкционной углеродистой стали 45, твердость которой НВ = 185...190, и скорости резания 9,4 м/мин. Типовая осциллограмма показана на рис. 3.

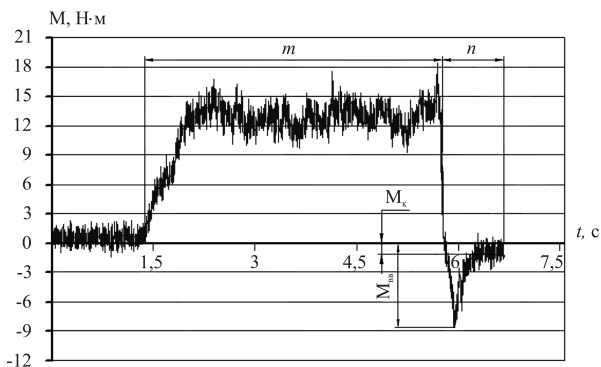


Рис. 3. Осциллограмма результатов измерений крутящего момента МВРС:
 m и n — процессы резьбонарезания и реверса; M_{BB} — максимальный крутящий момент при реверсе; M_{K} — момент трения на направляющей части при вывинчивании метчика

Из рис. 3 видно, что крутящий момент, необходимый для смятия корней стружек, определяется как $M_{\text{CM}} = M_{\text{BB}} - M_{\text{K}}$.

Результаты обработки осциллограмм по измерению крутящего момента $M_{\text{CM}}(M_{\text{BB}}, M_{\text{K}})$ приведены в таблице.

Таблица

**Крутящий момент при реверсе (M12×1,5, Z = 3,
 $\phi = 18^\circ, v = 9,4$ м/мин без СОЖ)**

Крутящий момент $M_{\text{CM}} \times 10^3$, Н·мм при реверсе	
стандартного метчика	МВРС
10,5	6
12	5
13,5	7,5
12	4,5
10	5
9,5	5,5
11,5	6,5
8,5	7
13	4,5
12	5,5
11,25*	5,7*

* — Среднее значение.

Суммарная площадь контакта S (рис. 4) определяется с использованием программы Inventor. Моделирование показало, что площадь контакта S зависит от ширины b площадки контакта задней поверхности со стружкой. Чтобы получить распределение напряжений и деформаций метчиков, моделировали три варианта контакта стружки с задней поверхностью инструмента: $b = 1; 2$ и B мм (см. рис. 2, а), при этом $S = 2,2; 4$ и $18,5$ мм² соответственно.

Результаты расчета напряженно-деформированного состояния пред-

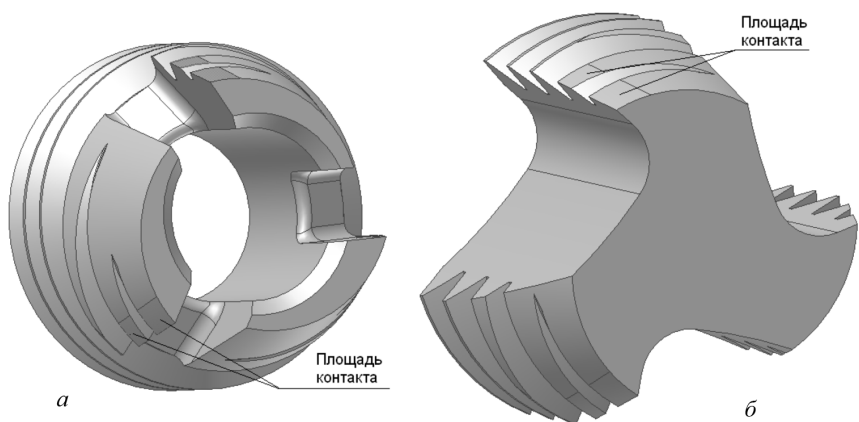


Рис. 4. Моделирование режущей части метчиков (M12×1,5; $\phi = 18^\circ$; $\gamma = 12^\circ$; $\alpha = 5^\circ$):

a – MBPC; *б* – стандартный метчик

ставлены на рис. 5 и 6. Анализируя результаты расчетов, выявили, что в конструкции MBPC использованы деформации режущего участка зубьев при реверсе в радиальном направлении. Например, для MBPC M12×1,5 максимальное перемещение составляет $\varepsilon = 0,05$ мм (рис. 5, *a*), а для стандартного метчика – $\varepsilon = 0,015$ мм (рис. 5, *б*).

В результате исследований установлено, что зоны максимальных напряжений занимают различное положение на режущей части стандартных метчиков и MBPC. У MBPC зона *A* максимальных напряжений (рис. 6, *a*) расположена в основании зубьев инструмента, у стандартных метчиков зона *B* (рис. 6, *б*) максимальных напряжений расположена на вершинах элементарных зубьев. Расчет показал, что значения напряжений на режущей части стандартного метчика больше, чем у MBPC, например, для резьбы M12 у стандартного метчика $\sigma = 1552$ МПа, а у MBPC $\sigma = 596$ МПа, т.е. напряжения умень-

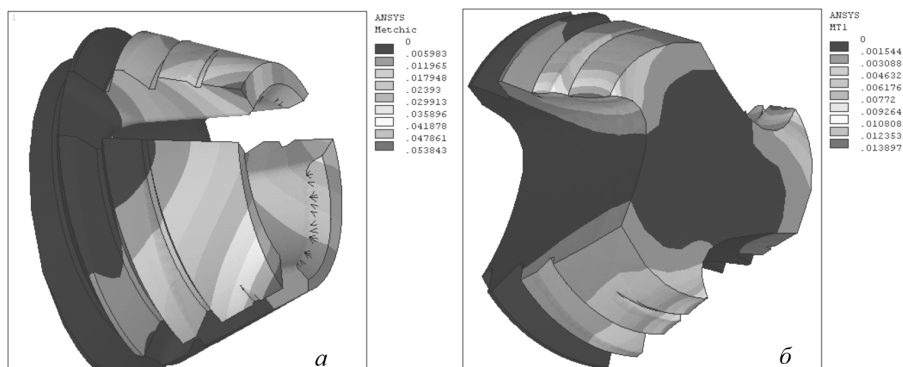


Рис. 5. Поле распределения суммарных перемещений режущей части метчиков (M12×1,5; $\phi = 18^\circ$; $\gamma = 12^\circ$; $\alpha = 5^\circ$):

a – MBPC; *б* – стандартный метчик

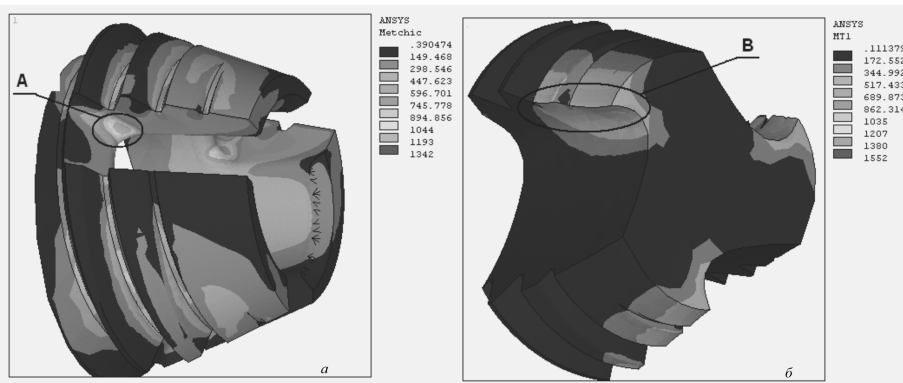


Рис. 6. Поле распределения напряжений на режущей части метчиков (M12×1,5; $\phi = 18^\circ$; $\gamma = 8^\circ$; $\alpha = 5^\circ$):

a – MBPC; б – стандартный метчик

шаются в 2,6 раза.

В проведенных исследованиях при обработке стали 45 приняты минимально допустимые значения задних углов α , что соответствует результатам исследований, выполненных профессором В.В. Матвеевым [4], по сокращению поломок метчиков при реверсе. Исследовано также влияние переднего угла γ на максимальные напряжения σ_{\max} (рис. 7). В результате выявили, что в диапазоне значений переднего угла γ от 5° до 12° максимальные напряжения σ_{\max} , возникающие при реверсе стандартных метчиков, превышают максимальные напряжения MBPC. Так, при $\gamma = 12^\circ$ соотношение максимальных напряжений составляет 1,3 в пользу MBPC. Заметим, что с увеличением переднего угла γ максимальные напряжения σ_{\max} у стандартных метчиков возрастают более интенсивно.

Выводы. 1. Конструкция MBPC предусматривает возможность упругой деформации режущего участка зубьев, вследствие чего уменьшаются максимальные напряжения на режущих кромках, что исключает

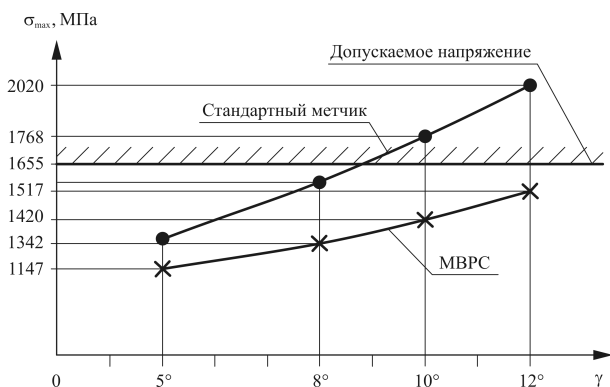


Рис. 7. Изменение максимальных напряжений в зависимости от переднего угла γ (M12×1,5; $\phi = 18^\circ$; $\alpha = 5^\circ$)

ет заклинивание и выкрашивание режущих кромок инструмента при реверсе.

2. Максимальные напряжения σ_{\max} , возникающие на режущих кромках при реверсе, возрастают с увеличением переднего угла γ . Напряжения σ_{\max} стандартных метчиков превышают напряжения σ_{\max} МВРС при реверсе в диапазоне переднего угла γ от 5° до 12° и возрастают более интенсивно с его увеличением.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Н о р р и Д., д е Ф р и з Ж. Введение в метод конечных элементов. – М.: Мир, 1981.
2. CAD-FEM GmbH official ANSYS®. Решение контактных задач. – М., 2003.
3. Б а р а н ч и к о в В. И. Справочник конструктора-инструментальщика. – М.: Машиностроение, 1994. – 560 с.
4. М а т е в В. В. Нарезание точных резьб. – М.: Машиностроение, 1968. – 114 с.

Статья поступила в редакцию 21.12.2007

Олег Вячеславович Кононов родился в 1966 г., окончил в 1989 г. МВТУ им. Н.Э. Баумана. Канд. техн. наук, доцент кафедры “Инструментальная техника и технологии” МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 15 научных работ в области обработки металлов резанием.

O.V. Kononov (b. 1966) graduated from the Bauman Moscow Higher Technical School in 1989. Ph.D.(Eng.), assoc. Professor of “Tooling Engineering and Technology” department of the Bauman Moscow State Technical University. Author of more than 15 publications in the field of processing metals by cutting.

Анатолий Васильевич Литвиненко родился 1946 г., окончил в 1975 г. МВТУ им. Н.Э. Баумана. Канд. техн. наук, доцент кафедры “Инструментальная техника и технологии” МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 40 научных работ в области обработки металлов резанием.



A.V. Litvinenko (b. 1946) graduated from the Bauman Moscow Higher Technical School in 1975. Ph.D.(Eng.), assoc. Professor of “Tooling Engineering and Technology” department of the Bauman Moscow State Technical University. Author of more than 40 publications in the field of processing metals by cutting.

Нгуен Туан Хиеу родился 1976 г., окончил в 2000 г. Государственный технический университет им. Ле Хю Дон (Ханой, Вьетнам). Аспирант кафедры “Инструментальная техника и технологии” МГТУ им. Н.Э. Баумана. Специализируется в области разработки конструкций и исследования работоспособности метчиков с внутренним отводом стружки.



Nguyen Tuan Hieu (b. 1976) graduated from the Le Quy Don Hanoi Vietnam State Technical University in 2000. Post-graduate of “Tooling Engineering and Technology” department of the Bauman Moscow State Technical University.