

Формирование отказов метчиков**77-30569/341732**

03, март 2012

Древаль А. Е., Литвиненко А. В.

УДК 621.9.02

МГТУ им. Н.Э. Баумана

lll957@yandex.ru

При резьбонарезании машинно-ручными метчиками в заготовках из углеродистых конструкционных сталей происходит износ главных задних поверхностей и боковых сторон режущих профилей в пределах вспомогательного лезвия, а также калибрующих профилей по площадке наружного диаметра. Существенного износа других конструктивных элементов, приводящего к изменениям резьбового профиля метчиков, не наблюдается. Характерный вид изношенного зуба метчика представлен на рис. 1.

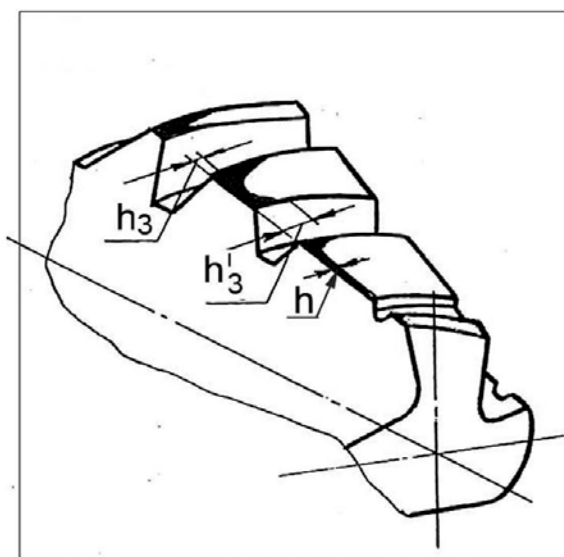


Рис. 1. Характерный вид износа режущих профилей метчика

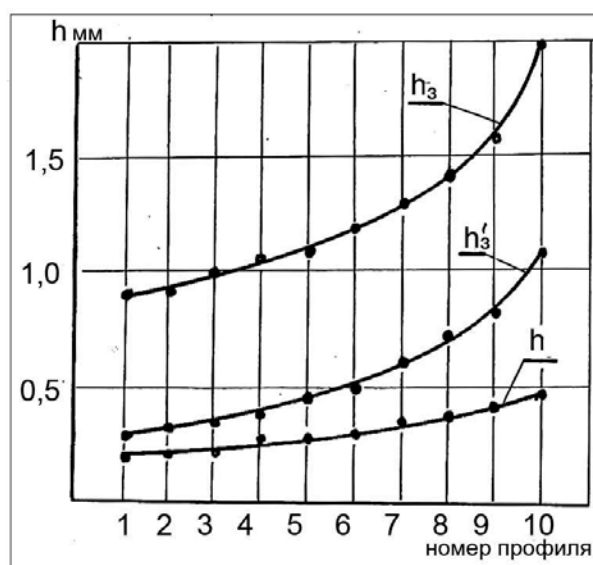


Рис. 2. Износ задней поверхности метчика в зависимости от положения профиля на рабочем конусе; метчик М16х1,5; $z=3$; $\varphi=18^\circ$; $V=8$ м/мин; сталь 45 НВ 185...190

В пределах одного режущего профиля задние поверхности изнашиваются вдоль главной режущей кромки относительно равномерно. В местах сопряжения главной режущей кромки со вспомогательной, по уголкам, величина износа существенно больше. При этом износ уголка, расположенного на заходной части режущего профиля, чаще всего меньше износа уголка, расположенного на выходной его части ($h'_3 < h_3$), рис.1. Величины h , h_3 , h'_3 неодинаковы в пределах одного инструмента и зависят от расположения профиля на режущем конусе. Во всех случаях на последних режущих профилях эти величины имеют максимальные значения. Такой характер износа соблюдается в течение всего периода стойкости метчиков рис. 2.

Процессы изнашивания приводят к существенным изменениям геометрических показателей режущих профилей (формы профиля, радиуса округления режущих кромок) и шероховатости поверхностей.

Измерения формы режущих профилей выполнены методом профилографирования с использованием модернизированного прибора ИРИК-2 [1].

Измерения профиля проводились параллельно режущей кромке метчика на расстоянии от нее 0,05, 0,25, 0,4, 0,8 мм (условия испытаний метчиков приведены на рис. 3).

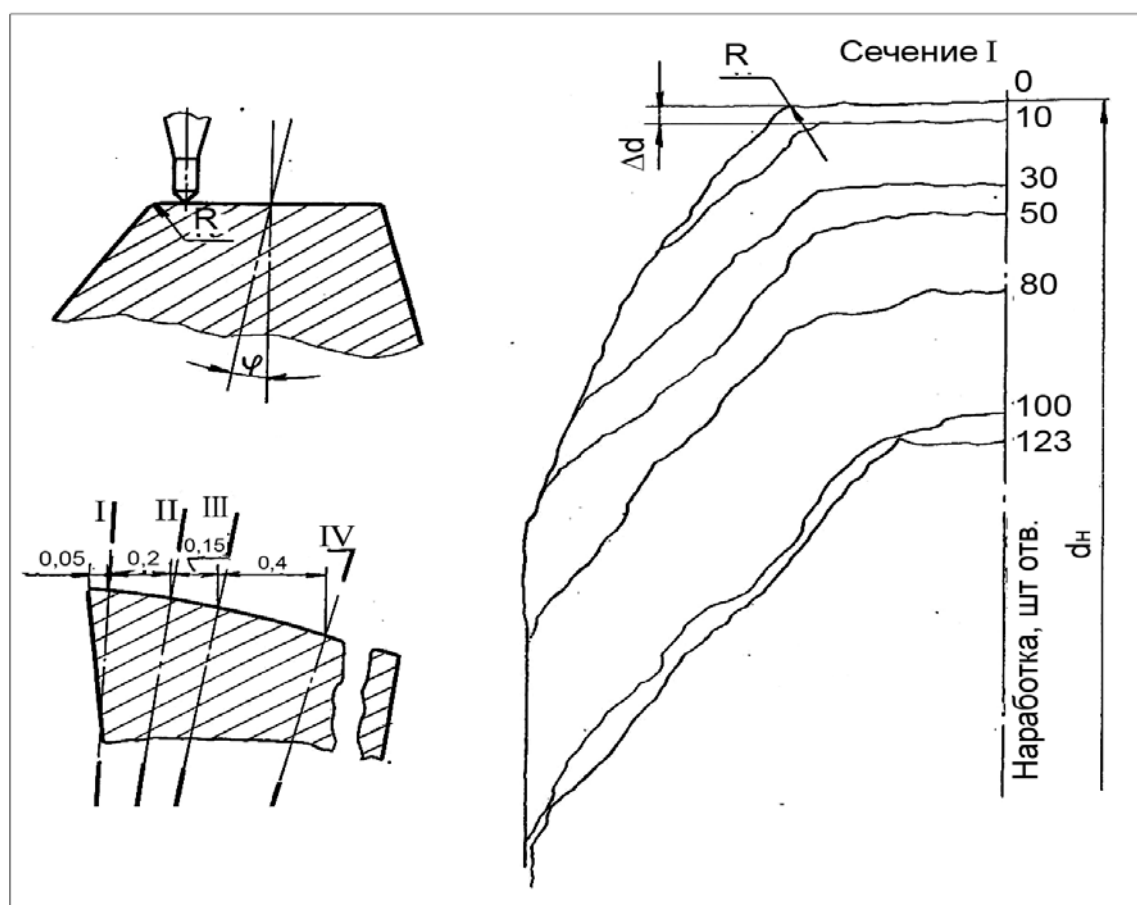


Рис. 3. Изменение формы последнего режущего профиля в результате износа; метчик М16х1,5Н1; $z = 3$; $\varphi = 14^\circ$; $V = 4,2$ м/мин; $h_y = 1,5$ мм, сталь 45 HB = 190, $l_0 = 30$ мм., х300.

Установлено, что уменьшение высоты режущего профиля (в радиальном направлении) зависит от положения сечения профиля относительно передней поверхности метчика. Максимальное изменение в радиальном направлении Δd наблюдается на некотором расстоянии от режущей кромки, табл.1.

Таблица 1

Изменение геометрических показателей профиля от наработки (условия резания на рис. 3)

Наработка шт. отверстий	Геометрические показатели профиля								Округление кромки ρ, мм
	I		II		III		IV		
	Δd,мм	R,мм	Δd,мм	R,мм	Δd,мм	R,мм	Δd,мм	R,мм	
0	0	0,012	0	0,013	0	0,012	0	0,013	0,013
10	0,007	0,022	0,008	0,021	0,006	0,020	0,003	0,013	0,015
20	0,029	0,024	0,018	0,024	0,012	0,024	0,008	0,013	0,016
30	0,043	0,026	0,043	0,025	0,019	0,025	0,009	0,014	0,017
50	0,055	0,031	0,072	0,031	0,055	0,028	0,010	0,016	0,021
80	0,098	0,041	0,144	0,036	0,098	0,033	0,018	0,018	0,029
100	0,161	0,048	0,180	0,050	0,130	0,041	0,029	0,020	0,036
120	0,175	0,060	0,202	0,065	0,142	0,050	0,030	0,025	0,041

Существенное изменение претерпевает радиус сопряжения R между главной и вспомогательной задними поверхностями. Из табл. 1 видно, что величина R изменяется до пяти раз на существенном расстоянии от передней поверхности инструмента. Происходит изменение формы вспомогательной режущей кромки примерно на половине её расчетной длины ($l_{аб} = a_z / \sin(60^\circ + \varphi)$). Одновременно весь профиль уменьшается по высоте. Износ в радиальном направлении постепенно превышает толщину срезаемого слоя ($\Delta d > a_z = 0,12$ мм) на расстоянии до 0,5 мм от главного режущего лезвия. Это состояние возникает ориентировочно при 80 % общей наработки до отказа инструмента. Таким образом, из-за износа режущих профилей нарушается расчетная схема срезания припуска и происходит постепенное перераспределение срезаемого припуска между профилями. В формообразование включаются профили, расположенные на направляющей части.

Величина радиуса округления режущей кромки ρ формируется на операции заточки метчиков и при качественной заточке находится в пределах $\rho = 7...15$ мкм. По мере роста наработки величина округления режущей кромки претерпевает изменения, причем эти изменения связаны с положением профиля на режущей части метчика. Наибольшие изменения наблюдаются на последних режущих профилях метчиков. Так, распределение значений радиуса округления режущих кромок метчиков M16x1,5H1 за период стойкости изменяется от $\rho_n = 12,4$ мкм, $\sigma_n = 1,21$ мкм до $\rho_k = 40,3$ мкм, $\sigma_k = 9,5$ мкм.

Увеличение радиуса округления режущих кромок оказывает существенное влияние на величину силы резания и, как следствие, инициирует сколы, выкрашивания режущих лезвий, что особенно сильно проявляется при малых толщинах срезаемого слоя [2]. Это характерно для последних режущих и первых калибрующих профилей метчиков.

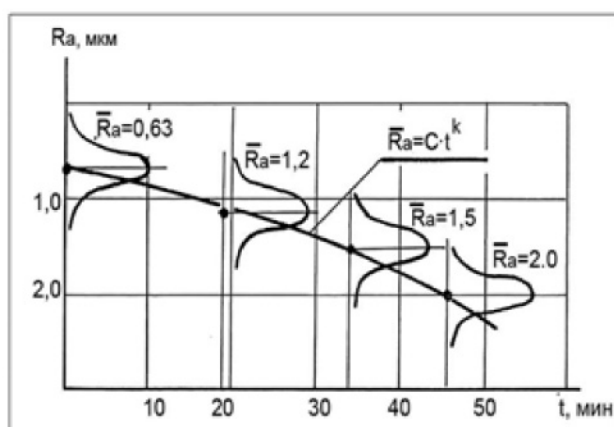


Рис. 4. Изменение шероховатости задней поверхности последнего режущего профиля с ростом наработки; M16x1,5H1; $\varphi = 14^\circ$, $z=4$, P6M5; сталь 45 HB 185...190, $n = 10$

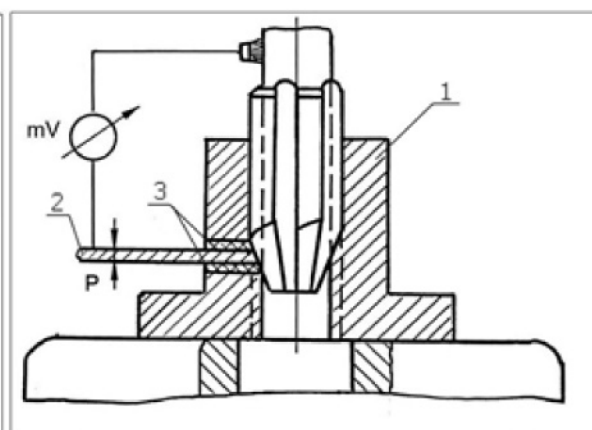


Рис. 5. Схема определения нагрузки на режущий профиль метчика.

Процесс изнашивания конструктивных элементов метчиков сопровождается изменениями шероховатости поверхностей. Наибольшие изменения происходят на задних поверхностях. Эти изменения могут быть описаны зависимостью $R_a = c \cdot t^m$, где c и m — константы, зависящие от физико-механических свойств обрабатываемого и инструментального материалов, параметров режима резания и конструктивных особенностей инструмента. Для условий представленных на рис.3 $C = 0,63$; $K = 0,3$. Установлено, что при определенной величине шероховатости (для примера рис. 4 при $R_a = 2,0$) на задних поверхностях появляются

обширные налипы обрабатываемого материала, которые оказывают существенное влияние на точность профиля нарезаемой резьбы и приводят к сколам и выкрашиваниям режущих профилей, к поломкам метчиков.

Причиной неравномерного износа режущих профилей метчиков являются различия в силовых и тепловых нагрузках, приходящиеся на отдельные профили, обусловленные их расположением на режущей части метчика, а также различия в условиях стружкообразования при их работе. Это предположение было высказано ранее многими исследователями, однако оно не получило экспериментального подтверждения.

Проведена оценка силовых и тепловых нагрузок, приходящихся на отдельные профили, моделированием работы единичного профиля. Для этого использовано специальное устройство (рис. 5). В резьбовом калибре 1 выполнена прорезь, в которую устанавливается пластинка 2 из стали 45 толщиной, равной шагу нарезаемой резьбы, и шириной, равной примерно 0,75 ширины стружечной канавки. Пластинка тщательно изолирована прокладками 3 от калибра 1. Часть пластинки, находящейся внутри калибра, обрабатывалась зенкером, диаметр которого равен внутреннему диаметру нарезаемой резьбы. Калибр в сборе устанавливается на динамометр УДМ600. Значения моментов резбонарезания и термо-ЭДС, приходящиеся на резьбовой профиль, определялись по формулам:

$$M_{ni} = M_{об} - M_{тр} \quad \text{и} \quad \theta_i = \theta_{об} - \theta_{тр}, \text{ где:}$$

$M_{об}$ и $\theta_{об}$ - момент и термо-ЭДС резбонарезания при прохождении режущим профилем метчика пластинки 2;

$M_{тр}$ и $\theta_{тр}$ – момент и термо-ЭДС резбонарезания при прохождении метчиком калибра.

В эксперименте использованы метчики М12Н1, М16х1,5Н1, М18х2Н1, изготовленные в соответствии с ГОСТ 3266-86 из стали Р6М5, обрабатываемый материал - сталь 45 НВ 185...190. Эксперименты проводились без использования СОЖ. Была выполнена калибровка термо-ЭДС на соответствие температуре резания.

Исследования показывают, что усилия и температура, возникающие на режущих профилях, зависят от их расположения на режущем конусе и скорости резания. Зависимости температуры линейны, наиболее нагретыми оказываются последние режущие профили, где температура резания приближается к 350⁰С. Зависимость крутящего момента, приходящегося на отдельный профиль, не линейна.

Для объективной оценки нагрузки режущих лезвий с учетом их различной длины и положения на режущем конусе принята относительная оценка - силовая нагрузка, приходящаяся на единицу длины лезвия (удельная нагрузка):

$$\mu_i = M_i / (L_i \cdot r_i), \text{ н/м, где:}$$

r_i - радиус - расстояние от оси метчика до точки режущего лезвия i -го профиля, совпадающей с его осью симметрии; L_i - длина режущего лезвия i -го профиля.

Характерное распределение удельной нагрузки по режущим профилям иллюстрируется на примере резбонарезания метчиками M18×2H1, рис. 6. Видно, что удельная нагрузка возрастает по мере приближения режущего профиля к направляющей части метчика и достигает максимальных значений на последних режущих профилях при всех значениях скорости резания. По мере износа режущих профилей удельные нагрузки возрастают по величине, но характер их распределения сохраняется.

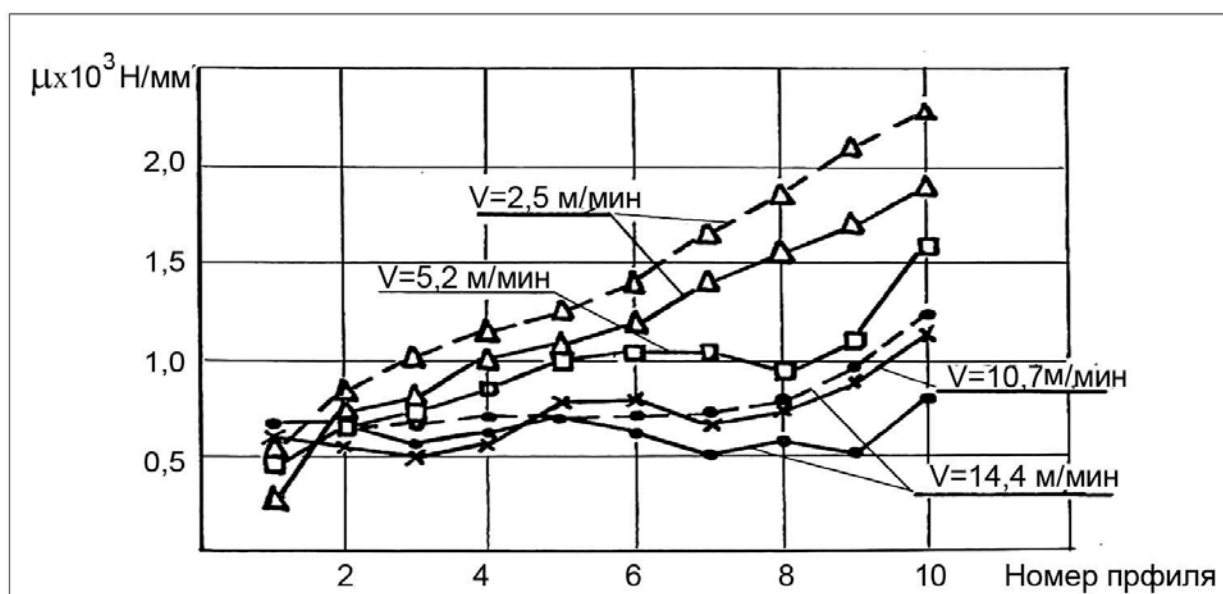


Рис. 6. Распределение удельной нагрузки на режущих профилях метчика:

— острозаточенный метчик; - - - - - износ $h_3=1,8$ мм; M18x2H1, $z=4$; $\varphi=18^\circ$; сталь 45, HB 185...190.

Скорость резания оказывает существенное влияние на величину удельной нагрузки и температуру на режущих профилях. Зависимость удельной нагрузки от скорости резания носит нелинейный характер, имеется четко выраженный минимум в диапазоне скоростей от 10,2 до 13,8 м/мин (рис. 7). В работе [3] было установлено, что указанный диапазон скоростей соответствует максимальной величине стойкости машинно-ручных метчиков. Наличие

минимума на зависимости удельной нагрузки от скорости резания и максимума стойкости в этом же диапазоне скоростей может быть объяснено особенностями наростообразования. В указанном диапазоне скоростей резания нарост имеет максимальные размеры, изменяет геометрические параметры режущего клина - увеличивает фактический передний угол γ , что снижает силы резания, выполняет защитную роль, предохраняя лезвие от износа [4].

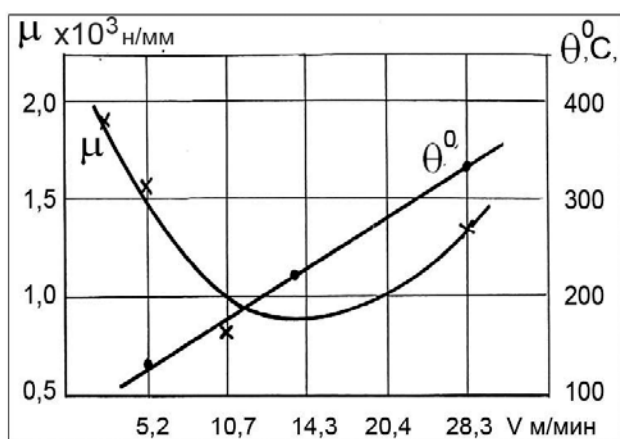


Рис. 7. Влияние скорости резания на удельную силу и температуру на последних режущих профилях метчика; метчик М18х2Н1; $z=4$; $\varphi=18^0$, Р6М5; сталь 45 НВ 185...190

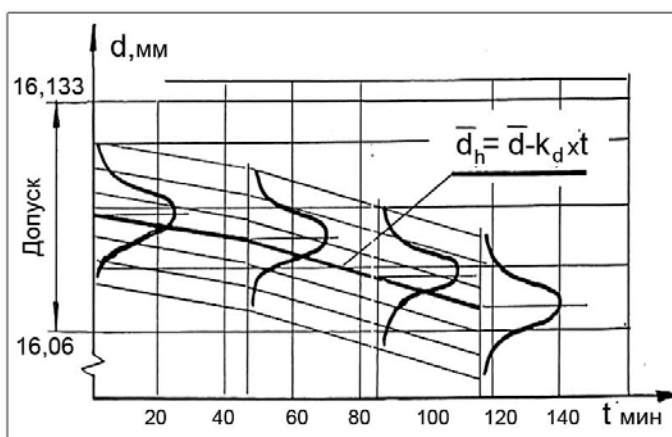


Рис. 8. Зависимость износа наружного диаметра метчиков от времени работы; метчик М16х1,5Н1; $z=3$; $\varphi=18^0$; Р6М5; $h_d-1,5$ мм; $V=8$ м/мин; сталь 45, НВ 185...190; $n=10$.

Представленные экспериментальные данные показывают, что наиболее нагруженными являются последние режущие профили метчиков, они претерпевают наиболее существенные изменения формы и шероховатости, более интенсивно изнашиваются и, следовательно, являются теми рабочими элементами инструмента, которые обуславливают его функциональный отказ.

Процесс изнашивания режущих профилей метчиков по задней поверхности сопровождается медленно протекающим процессом изнашивания направляющих профилей по наружному диаметру, т.е. постепенно теряется формообразующий элемент метчика. Таким образом, после нескольких переточек наступает параметрический отказ, инструмент переходит в предельное состояние и становится невосстанавливаемым.

Результаты производственных испытаний позволили получить зависимости износа направляющих профилей по наружному диаметру. Типовая зависимость представлена на рис.8. Проверка показывает, что для метчиков размерами от М8 до М30, изготовленных в

соответствии с ГОСТ, коэффициент вариации размера наружного диаметра va_{d_1} изменяется от 0,006 до 0,035 при законе распределения Гаусса. Интенсивность изнашивания вершин резьбового профиля примерно одинаковая и в пределах партии инструмента можно принять ее дисперсию равной нулю. Уменьшение наружного диаметра метчиков в зависимости от времени работы носит линейный характер:

$$\bar{d}_h = \bar{d} - k \cdot t,$$

где: $\bar{d}_h$ - текущее значение наружного диаметра, мм;

$\bar{d}$ - начальное значение наружного диаметра, мм;

k – скорость изнашивания вершины резьбового профиля, мм/мин

Выполнено исследование зависимости интенсивности изнашивания наружного диаметра метчиков от основных параметров процесса при обработке углеродистых конструкционных сталей. Интенсивность изнашивания наружного диаметра определялась как отношение уменьшения наружного диаметра Δd за время t мин к пути ΔL , пройденному первым профилем, расположенным на направляющей части метчика:

$$I_{dh} = \Delta d / \Delta L, \text{ мм/м}$$

В результате проведения однофакторных экспериментов получены частные зависимости интенсивности изнашивания наружного диаметра метчиков при обработке углеродистых конструкционных сталей от параметров режима резания и твердости обрабатываемого материала, приведенные в табл.2.

Таблица 2.

Частные зависимости интенсивности изнашивания наружного диаметра метчиков от основных параметров процесса резбонарезания

Параметр	Размерность	Зависимость
Скорость резания V	м/с	$I_{dh} = 1,2 \cdot 10^{-4} \cdot V^{-0,201}$
Угол режущей части φ	град	$I_{dh} = 0,5 \cdot 10^{-4} \cdot \varphi^{-0,9206}$
Диаметр метчика D	мм	$I_{dh} = 20,7 \cdot 10^{-4} \cdot e^{-0,1229d}$
Шаг резьбы P	мм	$I_{dh} = 5,1 \cdot 10^{-4} \cdot e^{-0,6694P}$
Твёрдость заготовки HB	кг/мм ²	$I_{dh} = 10^{-5} \cdot HB^{2,3164}$

Обобщенная зависимость интенсивности изнашивания наружного диаметра машинно-ручных метчиков, полученная в предположении отсутствия взаимовлияния параметров друг на друга, имеет вид:

$$I_{dh} = 3,38 \cdot 10^{-11} \cdot V^{-0,201} \cdot \varphi^{-0,9206} \cdot HB^{2,3164} \cdot e^{(-0,6694P-0,1229d)} \text{ мм/м}$$

Проверка, проведенная с использованием результатов производственных исследований, показала, что погрешность между расчетными и экспериментальными значениями I_{dh} не превышает 10 %, и, следовательно, указанная зависимость может быть рекомендована для инженерных расчетов с достаточной для практики точностью.

Выводы: 1. Режущие профили метчиков испытывают различные силовые и тепловые нагрузки, что связано с их расположением на режущей части. Экспериментально подтверждено, что наибольшие относительные нагрузки испытывают профили, расположенные у основания режущего конуса. Это определяет более интенсивное их изнашивание.

2. Режущие профили метчиков претерпевают существенные изменения: в радиальном направлении до 0,15...0,17 мм, радиус сопряжения главной режущей и вспомогательной кромок увеличивается до 5 раз, радиус округления режущих кромок увеличивается до 3-х раз. Износ в радиальном направлении превышает расчетную толщину срезаемого слоя, что приводит к перераспределению припуска между режущими профилями.

3. Процесс изнашивания метчиков по задней поверхности сопровождается медленно протекающим процессом изнашивания направляющих профилей по наружному диаметру по линейной зависимости. Разработанная обобщенная зависимость интенсивности изнашивания наружного диаметра позволяет оценить количество переточек в пределах ресурса инструмента.

Литература

1. Стенды и приборы для исследования процесса алмазно-абразивной обработки материалов / Н.П. Малевский и др. // Резание и инструмент. Труды МВТУ. 1980. № 324. С. 80-134.

2. Василюк Г.А. Оптимальный радиус округления режущей кромки резцов широкого назначения // Металлорежущий и контрольно – измерительный инструмент. М.: 1970. С. 9-10.

3. Грановский Г.И., Жихарев Е.В. Стойкостные исследования машинных метчиков из различных марок быстрорежущих сталей // Труды МВТУ . 1975. № 178. С. 76 – 85.

4. Маргулис Д.К. Роль нароста при протягивании с малыми подачами // Станки и инструмент. 1960. №12. С.7-9.

Formation of tap failures

77-30569/341732

03, March 2012

Dreval' A.E., Litvinenko A.V.

Bauman Moscow State Technical University

lll957@yandex.ru

The article presents the results of experimental studies of physical phenomena occurring during threading structural steel 45 with taps. It was experimentally confirmed that the greatest relative loads are on the cutting profiles located at the base of the cutting cone. This fact determines their more intense wear. The article includes the analysis of changes in the cutting profiles in the radial direction, changes in transition of the main and minor cutting edges and their corner radius. The authors developed a generalized dependence of tap wear rate in major-diameter.

Publications with keywords: [tap](#), [carving-forming](#), [wear](#), [cutting profile](#), [threading torque](#), [thermal emf](#)

Publications with words: [tap](#), [carving-forming](#), [wear](#), [cutting profile](#), [threading torque](#), [thermal emf](#)

References

1. Malevskii N.P., Buloshnikov B.C., Popov S.A., Tereshchenko L.M. Stendy i pribory dlia issledovaniia protsessov almazno-abrazivnoi obrabotki materialov [Stands and instruments for studying the processes of diamond-abrasive material handling]. *Trudy MVTU. Rezanie i instrument* [Proc. of the Bauman MHTS. Cutting and Tools], 1980, no. 324, pp. 80-134.
2. Vasiliuk G.A. Optimal'nyi radius okrugleniia rezhushchei kromki reztsov shirokogo naznacheniiia [Optimum cutting edge rounding radius of general-purpose cutters]. *Metallorezhushchii i kontrol'no-izmeritel'nyi instrument* [Cutting and measuring tools]. Moscow, NIIMASh Publ., 1970, pp. 9-10.
3. Granovskii G.I., Zhikharev E.V. Stoikostnye issledovaniia mashinnykh metchikov iz razlichnykh marok bystrorezhushchikh stalei [Resistance studies of machine taps made of different types of high-speed steels]. *Trudy MVTU* [Proc. of the Bauman MHTS], 1975, no. 178, pp. 76-85.
4. Margulis D.K. Rol' narosta pri protiagivaniia s malymi podachami [The role of the outgrowth when pulled with low feed rates]. *Stanki i instrument*, 1960, no. 12, pp. 7-9.