Украинский полиграфический институт имени Ивана Федорова
Том XI Научные записки 1955

Е. С. ВИКСМАН
Кандидат технических наук

ИССЛЕДОВАНИЕ СТОЙКОСТИ РЕЗЦОВ ПРИ СКОРОСТНОМ НАРЕЗАНИИ РЕЗЬБЫ ВРАЩАЮЩИМИСЯ РЕЗЦАМИ

Совершенствование технологических процессов механической обработки является одним из главных источников повышения производительности труда, увеличения выпуска продукции и улучшения ее качества в машиностроении. Широко развернувшееся движение за полное использование внутренних резервов производства, за увеличение выпуска продукции на имеющихся производственных площадях и оборудовании неразрывно связано с совершенствованием процессов металлообработки, и, в первую очередь, на массовых, сложных и трудоемких операциях. Одной из таких операций является резьбонарезание.

Большое разнообразие видов резьбы, размеров и требований к их точности обусловило применение многих способов ее изготовления. Каждый из них имеет определенные достоинства, недостатки и свою область применения. В технологии резьбонарезания и сейчас имеются значительные трудности, и совершенствование процессов нарезания резьбы имеет важное практическое значение.

В настоящее время широко применяется скоростное нарезание резьбы вращающимися резцами, так называемое вихревое нарезание. Это один из новых способов резьбонарезания.

Процесс нарезания резьбы вращающимися резцами представляет собой по сути дела процесс фрезерования сборной фрезой со вставными резцами-зубьями, оснащенными твердым сплавом.

Этот способ изготовления резьбы обладает достоинствами, которые должны обеспечить его широкое распространение:

а) высокая производительность, возможность нарезать резьбы большого шага, когда резьбофрезерование и накатка неприменимы;

б) универсальность, возможность нарезать на одном станке и приспособлении резьбы различного вида, диаметра и шага на материалах любой твердости;

в) высокая точность резьбы и хорошая чистота поверхности;

г) экономия охлаждающе-смазывающей жидкости;

д) могут быть использованы имеющиеся токарные и резьбофрезерные станки; приспособление просто и дешево, резцы просты в заточке, станок может обслуживаться рабочим невысокой квалификации;

е) возможность механизации и автоматизации процесса;

ж) если станки не загружены полностью на резьбонарезании, они могут быть использованы на других работах.

«Вихревое» нарезание может с успехом применяться не только на машиностроительных заводах, но и в ремонтных мастерских МТС.

Широкое распространение этого метода задерживается вследствие

недостаточной его изученности. Приводимые в литературе рекомендации нельзя назвать исчерпывающими, а в ряде случаев они даже неверны. Особенно слабо изучены износ резцов, их стойкость и влияние основных факторов процесса резания на износ и стойкость резцов.

В настоящей статье приводятся результаты исследования влияния основных факторов процесса резания на износ и стойкость резцов. Экс-

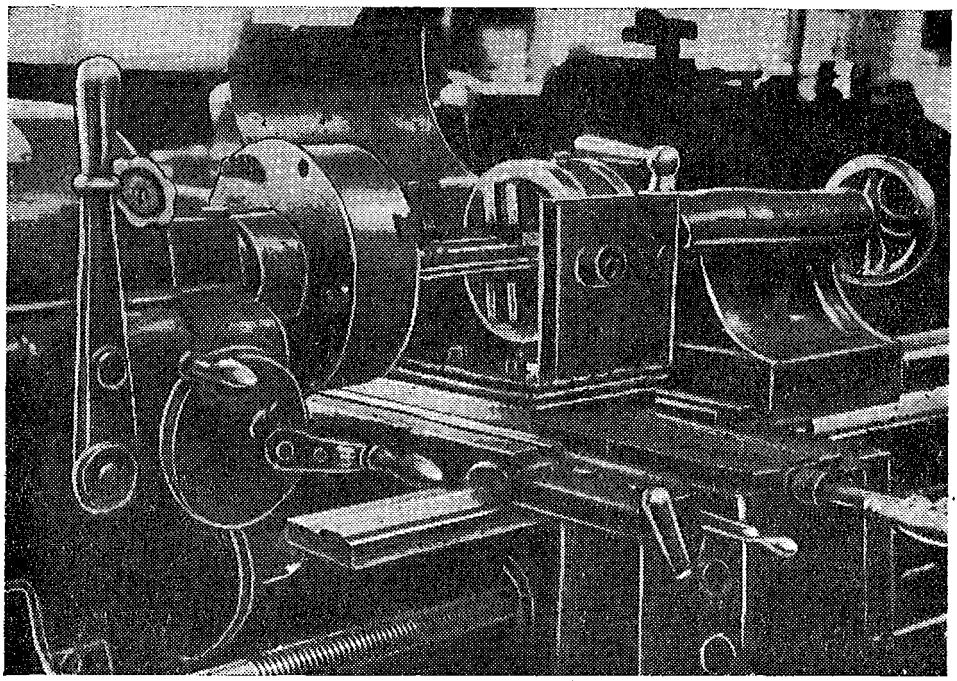

Рис. 1. Токарно-винторезный станок с приспособлением для нарезания резьбы вращающимися резцами.

периментальное исследование проводилось на Львовском заводе автопогрузчиков. Нарезалась серийная деталь — шток цилиндра наклона автопогрузчика с резьбой 2М-36 × 2 второго класса точности. Во время опытов было нарезано около 5000 деталей. Для опытов был использован токарно-винторезный станок и приспособление, изготовленное в механической лаборатории института (рис. 1). Испытывались резцы с пластинками твердых сплавов марок Т15К6 и Т30К4.

При нарезании резьбы вращающимися резцами могут применяться схемы нарезания при внешнем и внутреннем касании. При исследовании применялась только схема внутреннего касания, так как она обладает существенными преимуществами перед схемой внешнего касания (рис. 2).

При внутреннем касании величина угла контакта и длина дуги контакта значительно больше, а высота гребешков на обработанной поверхности значительно меньше, чем при внешнем касании. Поэтому при одинаковых режимах резания в случае внутреннего касания толщина среза значительно меньше, процесс резания протекает более спокойно, чистота обработанной поверхности выше, можно применять большие круговые подачи и благодаря этому повысить производительность станка.

Сказанное выше подтверждается анализом формул величины угла контакта, длины дуги контакта и высоты гребешков на обработанной поверхности при внутреннем и внешнем касании.

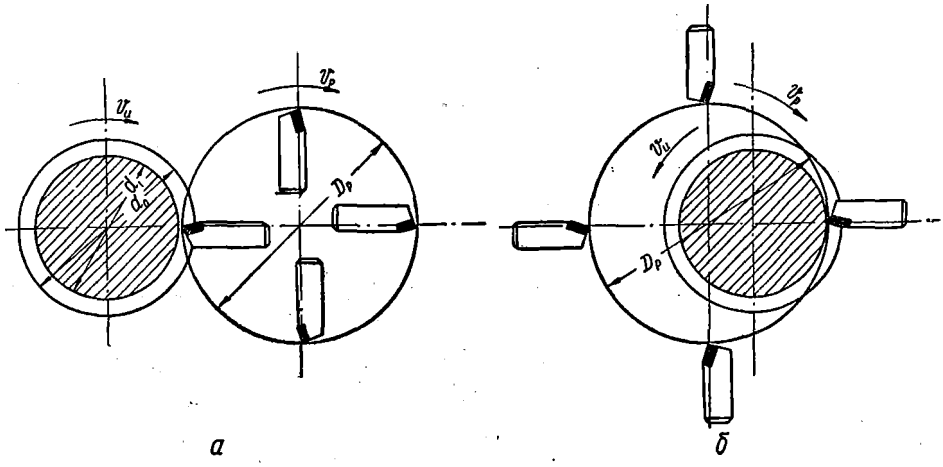

Рис. 2. Схемы нарезания резьбы вращающимися резцами при внешнем касании (*а*) и при внутреннем касании (*б*).

$$\omega = \arccos \frac{R_p^2 + (R_p - r_1)^2 - r_0^2}{2R_p(R_p - r_1)} + \frac{r_1}{R_p} \cdot \frac{\varphi}{2}\ ; \qquad [1]$$

$$\omega' = \arccos \frac{R_p^2 + (R_p + r_1)^2 - r_0^2}{2R_p(R_p + r_1)} + \frac{r_1}{R_p} \cdot \frac{\varphi}{2}\ ; \qquad [2]$$

$$l = \frac{\pi R_p}{180}\,\omega\ ; \qquad [3]$$

$$l' = \frac{\pi R_p}{180}\,\omega'\ ; \qquad [4]$$

$$h = -(R_p - r_1)\cos\frac{\varphi}{2} + \sqrt{R_p^2 - (R_p - r_1)^2 \sin^2\frac{\varphi}{2}} - r_1\ , \qquad [5]$$

$$h' = (R_p + r_1)\cos\frac{\varphi}{2} - \sqrt{R_p^2 - (R_p + r_1)^2 \sin^2\frac{\varphi}{2}} - r_1\ , \qquad [6]$$

где

ω — угол контакта при внутреннем касании;

ω' — угол контакта при внешнем касании;

l — длина дуги контакта при внутреннем касании;

l' — длина дуги контакта при внешнем касании;

h — высота гребешков на обработанной поверхности при внутреннем касании;

h' — высота гребешков при внешнем касании;

R_p — радиус окружности вершин резцов;

r_0 — наружный радиус резьбы;

r_1 — внутренний радиус резьбы;

φ — угол поворота изделия, соответствующий круговой подаче на оборот резца.

ВЛИЯНИЕ ВЕЛИЧИНЫ КРУГОВОЙ ПОДАЧИ НА ИЗНОС И СТОЙКОСТЬ РЕЗЦОВ

Машинное время при нарезании резьбы вращающимися резцами определяется формулой

$$T_0 = \frac{L_1}{n_u \cdot S} \cdot i \text{ мин}, \qquad [7]$$

где L — длина прохода в *мм*;
n_u — количество оборотов в мин;
S — шаг резьбы в *мм*;
i — число проходов.

Величина круговой подачи на оборот резца S_0 определяется по формуле

$$S_0 = \frac{\pi d_0 \cdot n_u}{n_p \cdot Z} \text{ мм}, \qquad [8]$$

где d_0 — наружный диаметр резьбы;
n_p — число оборотов резцовой головки в мин;
Z — количество резцов.

Найдя значение n_u из формулы [8] и подставив его в формулу [7], получим

$$T_0 = \frac{\pi L d_0}{S_0 n_p \cdot Z \cdot S} \cdot i \text{ мин}. \qquad [9]$$

Из формулы [9] следует, что при увеличении круговой подачи S_0 машинное время нарезания резьбы пропорционально уменьшается. Поэтому с точки зрения производительности станка, увеличение круговой подачи целесообразно. Однако допустимая величина круговой подачи ограничивается требованиями чистоты поверхности, стойкостью резцов и усиливающимися ударами.

При увеличении круговой подачи высота гребешков волн на обработанной поверхности увеличивается, и при больших круговых подачах поверхность резьбы «рябит». Подсчеты высоты неровностей по формуле [5] и изучение чистоты поверхности показывают, что при круговых подачах до 1 *мм* на оборот резца поверхность резьбы близка к шлифованной, следов дробления не видно.

Увеличение круговой подачи приводит к увеличению максимальной толщины среза, определяемой по формуле

$$a_{max} = \sqrt{(R_p - r_1)^2 + r_0^2 - 2(R_p - r_1) r_0 \cdot \cos\left[\arccos \frac{(R_p - r_1)^2 + r_0^2 - R_p^2 + 2(R_p - r_1) r_0}{} + \frac{360\, n_u}{n_p Z}\right]} - R_p. \qquad [10]$$

Так как длина среза при увеличении круговой подачи возрастает незначительно, то увеличение толщины среза по его длине при увеличении круговой подачи происходит более резко и удары в процессе резания усиливаются.

Величина круговой подачи оказывает заметное влияние на процесс стружкообразования. При увеличении круговой подачи усадка стружки a следовательно, и объем пластической деформации срезаемого металла

уменьшается, что должно привести к уменьшению удельного расхода мощности и количества выделяющегося при резании тепла.

Для исследования влияния величины круговой подачи на износ и стойкость резцов нарезалась наружная резьба 2М-36 × 2 на стали 35. При опытах изменялась

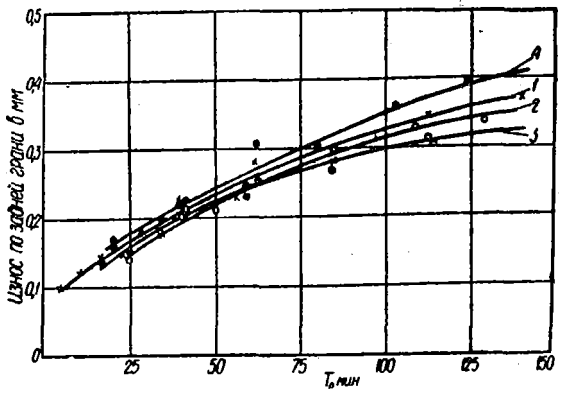

Рис. 3. Кривые износа резцов при следующих круговых подачах на оборот резца: 0,53 *мм* (1); 0,74 *мм* (2); 1,05 *мм* (3); 1,43 *мм* (4):

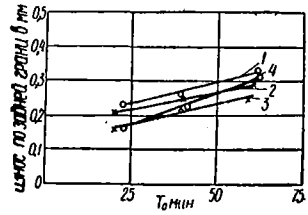

Рис. 4. Влияние круговой подачи на износ резцов. Кривые износа при круговых подачах: 0,53 *мм* (1); 0,74 *мм* (2); 1,05 *мм* (3); 1,43 *мм* (4).

только величина круговой подачи. Остальные факторы процесса резания оставались неизменными.

Таблица 1

Режим резания

D_p *мм*	$\frac{D_p}{d_0}$	n_p об/мин	V_p *м/мин*	Марка твердого сплава	Геометрия резца		
					φ	γ	α
41,4	1,15	1720	224	Т15К6	59°30′	—8°	6°

Применялись круговые подачи 0,53; 0,74; 1,05; 1,43 и 1,99 *мм* на оборот резца.

Было поставлено две серии опытов. Первая серия проводилась на разных резцах, вторая — с партиями одинаковых резцов. На основании данных опытов построены кривые износа резцов по задним граням (рис. 3 и 4).

Математическая обработка результатов опытов позволила получить формулы в виде степенных функций, определяющих влияние величины круговой подачи S_0 на износ резцов по задним граням δ, стойкость резцов в минутах (T мин.) и стойкость резцов в количестве деталей (T кол. дет).

В интервале круговых подач $S_0 = 0{,}53 \div 1{,}05$ *мм/об* резца эти зависимости определяются формулами:

$$\delta_1 = \frac{C_{\delta_1}}{S_0^{x_{\delta_1}}}, \qquad [11]$$

$$T_{1\text{ мин}} = C_{T_M} \cdot S_0^{x_{T_M}}, \qquad [12]$$

$$T_{1\text{ кол. дет}} = C_{T_K} \cdot S_0^{x_{T_K}}. \qquad [13]$$

В интервале круговых подач $S_0 = 1{,}05 \div 1{,}43$ *мм/об* резца эти зависимости определяются формулами:

$$\delta_2 = C_{\delta_2} \cdot S_0^{x_{\delta_2}}, \qquad [14]$$

$$T_{2мин} = \frac{C'_{T_м}}{S_0^{x'_{T_м}}}, \qquad [15]$$

$$T_{2\,кол.\,дет} = \frac{C'_{T_к}}{S_0^{x'_{T_к}}}. \qquad [16]$$

Значения постоянных и показателей степени при S_0 для нашего случая приводятся в таблице 2.

Таблица 2

Значение постоянных и показателей степени при S_0

C_{δ_1}	C_{δ_2}	$C_{T_м}$	$C'_{T_м}$	$C_{T_к}$	$C'_{T_к}$	X_{δ_1}	X_{δ_2}	$X_{T_м}$	$X'_{T_м}$	$X_{T_к}$	$X'_{T_к}$
0,29	0,28	154	170	51,3	56,2	0,14	0,45	0,46	1,54	1,5	0,7

Анализ кривых износа и формул [11—16] показывает, что при увеличении круговой подачи от 0,53 до 1,05 *мм* на оборот резца износ резцов уменьшается, а стойкость в минутах и в количестве деталей увеличивается. Это странное, на первый взгляд, положение можно объяснить тем, что при малых значениях круговой подачи толщина среза по длине возрастает очень медленно, резец длительное время не может врезаться в металл и сминает его, при этом большое трение задних граней о металл приводит к повышенному износу резцов. При увеличении круговой подачи на оборот резца толщина среза по длине увеличивается более резко, врезание режущих кромок в металл облегчается и износ уменьшается. При круговых подачах больше 1 *мм* на оборот резца положительное влияние увеличения толщины среза уже не сказывается, а усиливающиеся удары и увеличивающееся давление стружки на резец приводят к увеличению износа и снижению стойкости.

Испытания резцов с пластинками твердого сплава Т30К4 показали, что стойкость этого сплава незначительно выше стойкости сплава Т15К6, и повышенная хрупкость сплава Т30К4 приводит к частым поломкам пластинок.

ВЫВОДЫ

1. Увеличение круговой подачи до 1 *мм* на оборот резца уменьшает износ и повышает стойкость резцов. Дальнейшее повышение круговой подачи увеличивает износ и снижает стойкость резцов.

2. Увеличение круговой подачи до 1 *мм* на оборот резца практически не ухудшает чистоты обработанной поверхности, производительность процесса увеличивается, расход инструмента на партию деталей уменьшается.

3. Характер износа резцов при изменении круговой подачи не изменяется. При всех применявшихся круговых подачах превалирующим был износ по задним граням.

4. При нарезании треугольной резьбы на конструкционных сталях величина круговой подачи должна находиться в интервале 0,8—1,1 *мм* на оборот резца. Меньшие величины подач следует применять при нарезании резьб с большим шагом, при повышенной прочности материала и большем количестве резцов.

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ РЕЗАНИЯ НА ИЗНОС И СТОЙКОСТЬ РЕЗЦОВ

При выбранных величинах S_0 и D_p увеличение скорости резания v вызывает пропорциональное уменьшение машинного времени и, следовательно, повышает производительность.

Поэтому при назначении режимов резания необходимо выбирать максимально допустимую скорость. Однако допустимая скорость резания ограничивается стойкостью резцов.

При исследовании влияния скорости резания на износ и стойкость резцов применялись скорости 158, 224, 327 и 431 *м/мин,* все остальные факторы процесса резания были постоянными (см. таблицу 1). Круговая подача равнялась 0,74 *мм* на оборот резца.

Результаты опытов с одной партией резцов приводятся на рис. 5.

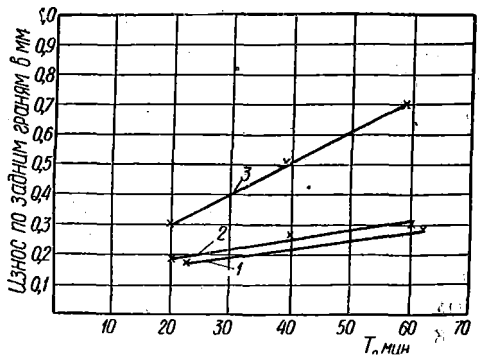

Рис. 5. Влияние скорости резания на износ резцов. Кривые износа при скоростях резания: 1,58 *м/мин* (*1*); 224 *м/мин* (*2*); 327 *м/мин* (*3*):

При увеличении скорости резания от 158 до 224 *м/мин* износ резцов возрастал незначительно. При увеличении скорости резания до 327 *м/мин* износ резко увеличивался, однако превалирующим оставался износ по задним граням. При скорости резания 431 *м/мин,* наряду с быстрым увеличением износа по задним граням, резко увеличился износ передней грани. Примерно после 10 минут работы на передней грани резца образуется глубокая лунка, края которой достигают режущих кромок, и дальнейшее резание становится невозможным. Таким образом, скорость резания оказывает влияние не только на величину износа, но и на его характер.

Математическая обработка результатов опытов позволила получить формулы для определения влияния скорости резания v_p на износ резцов δ и стойкость в минутах (T мин) и в количестве деталей (T кол. дет).

В интервале скоростей резания 158 + 224 *м/мин* эти зависимости определяются формулами:

$$\delta = C_{v_1} v^{y_{v_1}}, \qquad [17]$$

$$T_{мин} = \frac{C_{T_1}}{v^{y_{T_1}}}, \qquad [18]$$

$$T_{кол.дет.} = C_{T_3} v^{y_{T_3}}. \qquad [19]$$

В интервале скоростного резания 224—327 *м/мин* —

$$\delta = C_{v_2} \cdot v^{y_{v_2}}, \qquad [20]$$

$$T_{мин} = \frac{C_{T_2}}{v^{y_{T_2}}}, \qquad [21]$$

$$T_{кол.дет} = \frac{C_{T_4}}{v^{y_{T_4}}}. \qquad [22]$$

Для нашего случая значения постоянных и показателей степени при скорости резания приводятся в таблице 3.

Таблица 3

Значения постоянных и показателей степени при скорости резания

C_{v_1}	C_{v_2}	C_{T_1}	C_{T_2}	C_{T_3}	C_{T_4}	y_{v_1}	y_{v_2}	y_{T_1}	y_{T_2}	y_{T_3}	y_{T_4}
0,0363	$1{,}94—10^{-6}$	138	$105—10^{-6}$	0,121	$138—10^3$	0,4	2,21	0,13	2,65	0,9	1,68

Анализ результатов опытов и формул [17—22] позволяет сделать вывод, что при увеличении скорости резания от 158 до 224 *м/мин* износ резцов увеличивается медленно и стойкость в минутах уменьшается незначительно, а стойкость в количестве деталей увеличивается. При скорости резания 327 *м/мин* износ резцов резко увеличивается, а стойкость в минутах и количестве деталей значительно уменьшается. Таким образом, увеличение скорости резания до 224 *м/мин* вполне целесообразно, так как позволяет увеличить производительность процесса, снизить расход инструмента на партию деталей и сохранить практически ту же стойкость инструмента в минутах.

Дальнейшее значительное увеличение скорости резания не представляется целесообразным, так как расход инструмента на партию деталей увеличивается, а резкое уменьшение стойкости инструмента приводит к необходимости частой смены резцов и их настройки, то есть увеличивает вспомогательное время, поэтому увеличение скорости резания практически не повышает производительности процесса.

Опыты с резцами, оснащенными пластинками твердого сплава Т30К4, показали, что и при скорости резания 327 *м/мин* эти резцы не обладают преимуществами перед резцами с пластинками сплава Т15К6 и их применение нецелесообразно. Поэтому в дальнейшем испытывались только резцы со сплавом Т15К6.

ВЫВОДЫ

1. Изменение скорости резания в интервале 150 ÷ 250 *м/мин* оказывает незначительное влияние на износ и стойкость резцов. При скоростях резания больше 300 *м/мин* износ резцов резко возрастает, а стойкость соответственно падает. В интервале скоростей резания 150—300 *м/мин* превалирующим является износ по задним граням, а при скорости резания 430 *м/мин* — износ по передней грани.

2. Не рекомендуется при этом методе нарезания резьбы применять скорости резания в широком интервале. При малых скоростях резания мы проигрываем в производительности процесса и расходе инструмента на партию деталей, а при чрезмерно больших скоростях резания — в расходе инструмента на партию деталей и практически не достигаем повышения производительности процесса.

3. При нарезании треугольной резьбы на деталях из углеродистой конструкционной стали оптимальными следует считать скорости резания 220—250 *м/мин.*

ВЛИЯНИЕ ОТНОШЕНИЯ $\frac{D_p}{d_0}$ НА ИЗНОС И СТОЙКОСТЬ РЕЗЦОВ

При нарезании наружной резьбы вращающимися резцами диаметр окружности вершин резцов D_p всегда больше наружного диаметра резьбы d_0. Отношение $\frac{D_p}{d_0}$ оказывает существенное влияние на чистоту обработанной поверхности, на удары и вибрации при резании, на износ и стойкость резцов. Из формул [1] и [3] следует, что по мере приближения отношения $\frac{D_p}{d_0}$ к единице, угол контакта и длина дуги контакта возрастают. Изменение отношения $\frac{D_p}{d_0}$ значительно сильнее влияет на величину угла контакта и длину среза, чем изменение круговой подачи.

Если другие факторы процесса резания остаются неизменными, то объем каждой срезаемой стружки также остается постоянным, и, так как при увеличении отношения $\frac{D_p}{d_0}$ длина стружки уменьшается, то толщина ее увеличивается и удары при резании усиливаются, высота волн на обработанной поверхности также возрастает.

При одинаковой производительности процесса, то есть при сохранении постоянства круговой подачи S_0 и числа оборотов резцовой головки, увеличение отношения $\frac{D_p}{d_0}$ вызывает вредное увеличение скорости резания.

Однако наряду с отрицательным влиянием увеличения отношения $\frac{D_p}{d_0}$, оно оказывает и положительное влияние на процесс резания.

Длина дуги контакта, а значит, и фактическое время, в течение которого резец работает и изнашивается, сокращается. Режущие кромки резца легче врезаются в металл. Объем пластической деформации срезаемого слоя металла уменьшается.

Имеется еще один важный технологический фактор, который необходимо учитывать при выборе отношения $\frac{D_p}{d_0}$. Этот фактор вытекает из кинематики процесса. Производительность процесса пропорциональна количеству резцов, установленных в резцовой головке. Так как однорезцовые головки не обеспечивают высокой производительности, на практике применяют головки с тремя, четырьмя и больше резцами. Если в контакте с изделием будут находиться одновременно два резца, то вывести резцы из контакта за счет эксцентриситета невозможно (рис. 6).

В этом случае необходимо после каждого прохода перемещать приспособление в направлении поперечной подачи и после отвода суппорта в исходное положение снова устанавливать на требуемую глубину резания. Такая операция нежелательна, поскольку она требует затраты дополнительного времени, усложняет процесс и снижает точность резьбы.

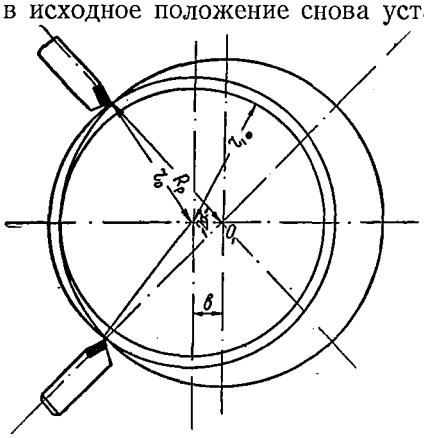

Рис. 6.

Если в резцовой головке закреплено больше двух резцов, минимально необходимое для вывода резцов за счет эксцентриситета, отношение $\frac{D_p}{d_o}$ определяется формулой

$$\frac{R_{p\min}}{r_o} = \frac{r_1(1-\cos\alpha+\sqrt{2r_0^2(1-\cos\alpha)-r_1^2(1-\cos^2\alpha)}}{2r_o(1-\cos\alpha)} \quad [22]$$

В таблице 4 приводятся эти соотношения при нарезании треугольных резьб четырехрезцовой головкой.

Таблица 4

Минимально необходимые для свободного вывода резцов отношения

Нарезаемая резьба	Шаг резьбы (в *мм*)					
	1	2	3	4	5	6
	Отношение					
Резьба метрическая основная по ОСТ 32	1,29	1,27	1,25	1,23	1,18	1,15
Резьба метрическая 1-я мелкая по ОСТ/НКТП 271	1,25	1,19	1,19	1,17	—	—
Резьба метрическая 2-я мелкая по ОСТ/НКТП 272	1,18	1,14	1,13	—	—	—

Для определения влияния отношения $\frac{D_p}{d_o}$ на износ и стойкость резцов применялись величины этого отношения, равные 1,05; 1,15; 1,3 и 1,5. Режим резания и геометрия резцов приводятся в таблице 5.

Таблица 5

Режим резания и геометрия резцов

n_p	n_u	S_o	Геометрия резцов		
			φ	γ	α
1720	11,2	0,74	59°30′	—8°	6°

Кривые износа для одной партии резцов приводятся на рис. 7. Они показывают, что при увеличении отношения $\frac{D_p}{d_o}$ от 1,05 до 1,3 износ резцов уменьшается, а при дальнейшем увеличении этого отношения до 1,5 износ возрастает. Уменьшение износа резцов при увеличении отношения $\frac{D_p}{d_o}$ от 1,05 до 1,3 происходит несмотря на то, что увеличение этого отношения вызывает увеличение скорости резания. В нашем случае это вызвало увеличение скорости резания от 204 *м/мин* до 253 *м/мин*. Положительное влияние увеличения отношения в указанном интервале можно объяснить тем, что при этом значительно уменьшается длина дуги контакта, и при снятии одинакового объема металла путь резца, во время которого задние грани трутся об обработанную поверхность и изнашиваются, значительно сокращается. Увеличение диаметра окружности вершин резцов D_p при неизменном диаметре резьбы d_0 и числе оборотов резцовой головки n_p приводит к увеличению скорости резания, благодаря чему время контакта резца с изделием сокращается, а путь резца вне контакта также увеличивается, и резец лучше охлаждается. Происходит также увеличение толщины среза, вследствие чего объем пластической деформации металла уменьшается, и врезание резца в металл облегчается.

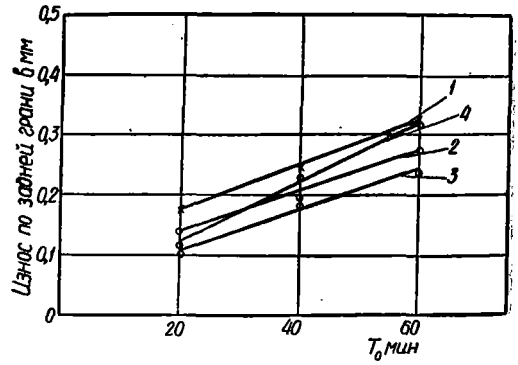

Рис. 7. Влияние отношения $\frac{D_p}{d_o}$ на износ резцов. Кривые износа при отношениях $\frac{D_p}{d_o}$:1,05 (*1*); 1,15 (*2*); 1,3 (*3*); 1,5 (*4*).

При дальнейшем увеличении отношения $\frac{D_p}{d_o}$ до 1,5 износ резцов увеличивается, а стойкость падает. Это объясняется, очевидно, тем, что резкое уменьшение длины среза и увеличение его толщины вызывают сильные удары при врезании резца, которые приводят к повышенному износу. Отрицательно сказывается также увеличение скорости резания.

Математическая обработка результатов опытов позволила получить формулы, определяющие влияние величины отношения $\frac{D_p}{d_o}$ на износ и стойкость резцов.

В интервале $\frac{D_p}{d_o} = 1{,}05 - 1{,}3$ эти зависимости определяются формулами:

$$\delta = \frac{C_1}{\left(\frac{D_p}{d_o}\right)^{Z_1}},$$

$$T_{мин} = C_3 \left(\frac{D_p}{d_o}\right)^{Z_3}.$$

В интервале $\frac{D_p}{d_o} = 1{,}3 \div 1{,}5$ зависимость выражается формулами:

$$\delta = \frac{C_2}{\left(\frac{D_p}{d_o}\right)^{Z_1}}; \qquad T_{мин} = C_4\left(\frac{D_p}{d_o}\right)^{Z}.$$

Значения постоянных и показателей степени при отношении $\frac{D_p}{d_o}$ для нашего случая приводятся в таблице 6.

Таблица 6

Значения постоянных и показателей степени при

C_1	C_2	C_3	C_4	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4
0,44	0,15	12,2	33,1	1,83	2,31	2,15	1,82

ВЫВОДЫ

1. Увеличение отношения $\frac{D_p}{d_o}$ до 1,3 при неизменной производительности способствует уменьшению износа резцов, повышению их стойкости и уменьшению расхода инструмента на партию деталей. Процесс резания протекает спокойно, чистота обработанной поверхости хорошая, выкрашивания резцов не наблюдается.

2. Дальнейшее увеличение этого отношения повышает износ резцов, снижает их стойкость и увеличивает расход инструмента.

3. Учитывая влияние отношения $\frac{D_p}{d_o}$ на износ и стойкость резцов, а также соображения удобства вывода резцов за счет эксцентриситета, следует признать оптимальными отношения $\frac{D_p}{d_o}$ в интервале $1{,}15 \div 1{,}3$.

Меньшие соотношения следует выбирать при нарезании мелких резьб, а в пределе определенного типа резьбы — при нарезании резьбы большего шага.

ВЛИЯНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ПЕРЕДНЕГО УГЛА НА ИЗНОС И СТОЙКОСТЬ РЕЗЦОВ

Величина переднего угла γ оказывает существенное влияние на процесс резания и стойкость резцов. Положительные передние углы облегчают процесс резания, уменьшают удары при резании, но ослабляют режущую часть резца и снижают его теплопоглощающую способность. Отрицательные передние углы приводят к увеличению объема пластической деформации и усилия резания, увеличивают удары при резании, но упрочняют режущие кромки резца и повышают его теплопоглощающую способность.

При исследовании влияния величины переднего угла на износ и стойкость резцов применялись резцы с передними углами —8°, —5°, —3°, 0°, +3°, +5°, +8° и +12°. Режим резания приводится в таблице 7.

Таблица 7

Режим резания при исследовании влияния резцов переднего угла на износ резцов

$\frac{D_p}{d_o}$	D_p мм	d_o мм	n_p об/мин	n_u об/мин	v_p м/м	S_o мм/об резца	Геометрия резца	
							φ	α
1,15	41,4	36	1720	11,2	224	0,74	59°30′	6°

Резцы с передними углами $+12°$ часто выкрашивались, и поэтому такой большой положительный передний угол при нарезании резьбы на стали применяться не может.

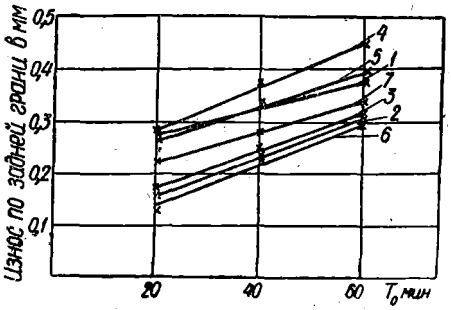

Рис. 8. Влияние величины переднего угла на износ резцов. Кривые износа при передних углах в градусах: —8 (*1*); —5 (*2*); —3 (*3*); 0 (*4*); +3 (*5*); +5 (*6*); +8 (*7*):

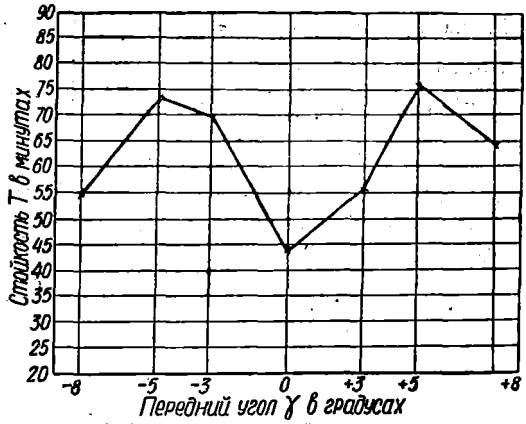

Рис. 9. Зависимость стойкости резцов от величины переднего угла.

Кривые износа для одной партии резцов с различными передними углами приводятся на рис. 8, а на рис. 9 показана зависимость стойкости резцов от величины переднего угла. Максимальную стойкость имели резцы с передним углом $+5°$, и незначительно меньшей стойкостью обладают резцы с передним углом $-5°$.

ВЫВОДЫ

1. При нарезании треугольной резьбы на стали следует применять резцы с передними углами $\gamma = +5°$ и $\gamma = -5°$. Положительный угол следует применять при нарезании мелких резьб на мягких материалах, а отрицательный угол — при нарезании резьб с большим шагом на материалах повышенной прочности.

ВЛИЯНИЕ ШАГА НАРЕЗАЕМОЙ РЕЗЬБЫ НА ИЗНОС И СТОЙКОСТЬ РЕЗЦОВ

Изменение шага нарезаемой резьбы оказывает влияние на величину угла контакта, длину среза, объем стружки и максимальную толщину среза. Это влияние шага резьбы на указанные величины приводится в таблице 8.

Таблица 8

Изменение угла контакта W, длины дуги контакта l, объема стружки q и максимальной толщины среза a_{max} в зависимости от шага резьбы

Режим резания							
d_o *мм*	D_p *мм*	$\frac{D_p}{d_o}$	n_u об/мин	n_p об/мин	v_p *м/мин*	S_o *мм/об* резца	Материал резца
36	41,4	1,15	11,2	1720	224	0,74	Т15К6

	Нарезаемая резьба			
	4М-36×1	2М-36×2	1М-36×3	М3-6×4
Угол контакта W	34°21′	44°16′	49°59′	53°42′
Длина дуги контакта l в *мм*	12,5	16	18,1	19,4
Объем стружки q *мм*³	0,95	3,7	8,17	14,15
Максимальная толщина среза a_{max} *мм*	0,07	0,12	0,14	0,18

Из таблицы видно, что увеличение объема стружки при увеличении шага резьбы происходит более интенсивно, чем увеличение длины и толщины среза, иначе говоря, увеличение объема стружки объясняется главным образом увеличением высоты среза.

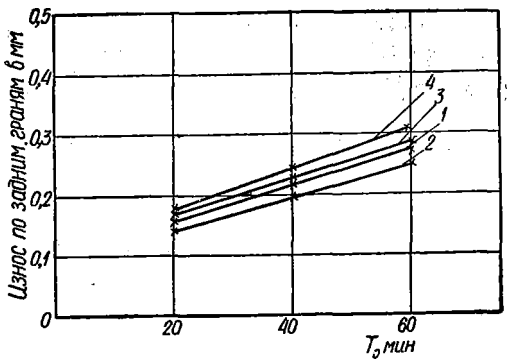

Рис. 10. Влияние шага резьбы на износ резцов. Кривые износа при шаге резьбы: 1 *мм* (*1*); 2 *мм* (*2*); 3 *мм* (*3*); 4 *мм* (*4*).

Для изучения влияния шага резьбы на износ и стойкость резцов нарезалась резьба с шагом 1, 2, 3 и 4 *мм* на стали 35. Режим резания приведен в таблице 8. Кривые износа для одной партии резцов приводятся на рис. 10.

Математическая зависимость износа резцов и их стойкость от шага резьбы при шаге больше 2 *мм* определяется формулами:

$$\delta = C_\delta \cdot S^{U_p};$$

$$T_{мин} = \frac{C_{\delta_T}}{S^{U_T}}.$$

В нашем случае после подстановки значений постоянных и показателей степени при шаге резьбы формулы приобретают вид:

$$\delta = 0{,}21 \times S^{0{,}33};$$

$$T_{мин} = \frac{151}{S^{0{,}6}}.$$

Относительно слабое влияние шага резьбы на износ и стойкость резцов объясняется тем, что при увеличении шага увеличивается длина режущей кромки, снимающей стружку, а толщина среза, его длина и давление на единицу длины режущей кромки возрастают незначительно.

ВЫВОДЫ

1. Шаг резьбы оказывает незначительное влияние на износ и стойкость резцов.

2. Независимо от шага резьбы для определенного материала можно применять одинаковые величины круговых подач.

Проведенное исследование влияния основных факторов процесса резания на износ и стойкость резцов, вместе с имеющимися данными о влиянии на износ механических характеристик обрабатываемого материала, позволит более рационально назначать режимы резания и может способствовать более широкому внедрению скоростного нарезания резьбы вращающимися резцами.