

## ЛИТЕРАТУРА

1. Биргер И.А. Остаточные напряжения. — М., 1963. — 232 с. 2. Ящеричы и П.И., Махаринский Е.И. Планирование эксперимента в машиностроении. — Мн., 1985. — 286 с.

УДК 621.993.042

В.И. ШАГУН

### ШАГ РЕЗЬБЫ

#### М16х2 В СТАЛИ 45 В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ РЕЗЬБООБРАБОТКИ

Исследования проводили на вертикально-сверлильном станке мод. 2А125 с самозатягиванием метчика. Шпиндель станка уравнивали так, что в нерабочем состоянии его можно было перемещать вверх и вниз с усилием 10... 15 Н. Усилие, необходимое для врезания метчика, и путь врезания были постоянными.

Образцы под нарезание резьбы — толстостенные втулки с наружным диаметром 48 мм, внутренним 14 мм и высотой 25 мм. Материал образцов — сталь 45 с твердостью 170 НВ и  $\sigma_{\text{в}} = 640$  МПа, структура — перлит + феррит.

Использование специальных тисков цапгового типа и точное выполнение образцов позволили закреплять образцы при несоосности со шпинделем станка до 0,015 мм.

Метчики — четырехперые из стали Р18, затылованные по профилю резьбы на всей ширине пера (тип А) и на  $2/3$  ширины пера (тип Б). Исходные параметры метчиков: длина рабочей части — 35 мм; ширина пера — 4,4 мм; передний угол  $\gamma = 10^\circ$ ; задний угол  $\alpha = 5^\circ$ ; угол заборного конуса  $\varphi = 14^\circ 50'$ ; обратная конусность по среднему диаметру резьбы  $\Delta d = 0,1:100$  мм; затылование по профилю на угловом шаге перьев  $K_1 = 0,135$  мм для метчиков типа А и 0,4 мм для метчиков типа Б.

Патрон для крепления метчиков — шариковый плавающий, лишь только при исследованиях радиального биения метчика — специальный жесткий с радиальной упругой податливостью 0,005 мм/Н на конце метчика.

Скорость резания  $v = 10$  м/мин, смазочно-охлаждающая жидкость — сульфозрезол, при исследовании влияния обрабатываемого материала — 10 %-я водная эмульсия эмульсола ЭБ-2. В специальном приборе для измерения среднего диаметра резьбы использован разрезанный вдоль оси резьбовой калибр — пробка типа НЕ с одним витком резьбы. Предельная погрешность измерения составляла  $\pm 3,5$  мкм. Собственно средний диаметр резьбы измеряли на каждом витке. Каждый опыт по нарезанию резьбы повторяли 10 раз.

Непосредственные измерения шага внутренних резьб малого диаметра затруднены. Поэтому отклонения шага определяли косвенно по уширению впадин резьбы при воздействии осевых и радиальных сил резания, а также и внешних, передаваемых от станка.

Под воздействием осевых сил, выталкивающих метчик из отверстия, боковые режущие кромки метчика, обращенные в сторону его хвостовика

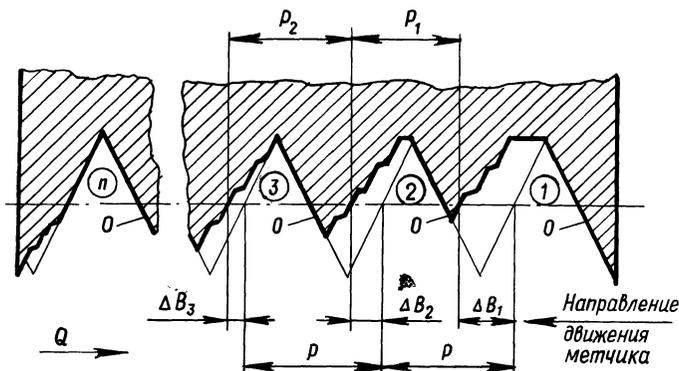


Рис. 1. Искажение профиля резьбы под действием осевых сил  $Q$  (1, 2, ...,  $n$  – впадины нарезанной резьбы; жирной линией показан действительный профиль резьбы)

(опорные), прижимаются к опорным сторонам только что нарезанных витков резьбы. Давления на опорные стороны витков резьбы настолько большие, что опорные кромки метчика срезают с них дополнительную стружку (доказано экспериментами, выполненными ранее), а неопорные кромки постепенно отходят от профилируемых ими сторон витков резьбы. При поступательном перемещении метчика шаг резьбы отличается от теоретического. Нарезанная резьба приобретает вид, показанный на рис. 1. По опорным сторонам  $O$  шаг нарезанной резьбы равен шагу метчика по этим же сторонам, так как метчик постоянно поджат к ним. По противоположным сторонам шаги  $P_1$  и  $P_2$  меньше  $P$ . Поэтому при исследованиях определяли отклонения шага резьбы по неопорным сторонам ( $P_1, P_2, \dots$ ).

Значения  $P_1, P_2, \dots, P_n$  легко вычислить по уширению впадины резьбы  $\Delta B_i$ :

$$P_1 = P - \Delta B_1 + \Delta B_2; P_2 = P - \Delta B_2 + \Delta B_3 \dots$$

В общем случае можно записать

$$P_i = P - \Delta B_i + \Delta B_{i+1}.$$

Уширение впадины  $\Delta B_i$  вычисляли по измеренному разбиванию среднего диаметра резьбы, отклонениям  $\Delta d_{2i}$  измеренного среднего диаметра  $d_{2i}$  от теоретического  $d_{2T}$  (рис. 2):

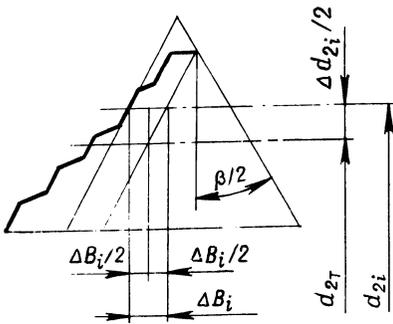
$$\frac{\Delta B_i}{2} : \frac{\Delta d_{2i}}{2} = \operatorname{tg}(\beta/2), \Delta B_i = \Delta d_{2i} \operatorname{tg}(\beta/2),$$

где  $\Delta d_{2i} = d_{2i} - d_{2T}$ .

Таким образом, отклонение шага резьбы

$$\Delta P_i = P_i - P = \Delta B_{i+1} - \Delta B_i.$$

Рис. 2. Схема для вычисления уширения впадины резьбы  $\Delta B_i$



Окончательно,  $\Delta P_i = (\Delta d_{2i+1} - \Delta d_{2i}) \operatorname{tg}(\beta/2)$ .

Средние значения отклонений шага  $\overline{\Delta P}_i$  на каждом витке резьбы вычисляли по средним значениям  $\overline{\Delta d}_{2i}$  при десятикратном повторении опытов:

$$\overline{\Delta P}_i = (\overline{\Delta d}_{2i+1} - \overline{\Delta d}_{2i}) \operatorname{tg}(\beta/2).$$

Накопленная ошибка шага

$$\overline{\Delta P}_\Sigma = \sum_{i=3}^{n-2} \overline{\Delta P}_i,$$

где  $n$  – число витков резьбы по длине отверстия образца;  $i$  – порядковый номер впадины нарезанной резьбы, отсчитанный со стороны захода метчика.

Две первых и две последних впадины резьбы в расчет не принимались, так как их размеры стандартом не установлены.

Длина отверстия в образцах – 25 мм, т.е. 12 шагов. Поэтому в соответствии с рис.1

$$\begin{aligned} \overline{\Delta P}_\Sigma &= \overline{\Delta P}_3 + \overline{\Delta P}_4 + \dots + \overline{\Delta P}_9 = [(\overline{\Delta d}_{24} - \overline{\Delta d}_{23}) + \\ &+ (\overline{\Delta d}_{25} - \overline{\Delta d}_{24}) + \dots + (\overline{\Delta d}_{210} - \overline{\Delta d}_{29})] \operatorname{tg}(\beta/2). \end{aligned}$$

Окончательно получим

$$\overline{\Delta P}_\Sigma = (\overline{\Delta d}_{210} - \overline{\Delta d}_{23}) \operatorname{tg}(\beta/2).$$

Достоверность результатов исследований оценивали по доверительным интервалам для  $\overline{\Delta P}_i$  и  $\overline{\Delta P}_\Sigma$ :

Математическое ожидание отклонений шага

$$m\overline{\Delta P}_i = \overline{\Delta P}_i \pm \delta\overline{\Delta P}_i = \overline{\Delta P}_i \pm z_\alpha \sigma\overline{\Delta P}_i,$$

$$m\overline{\Delta P}_\Sigma = \overline{\Delta P}_\Sigma \pm \delta\overline{\Delta P}_\Sigma = \overline{\Delta P}_\Sigma \pm z_\alpha \sigma\overline{\Delta P}_\Sigma.$$

Заменим средние квадратические отклонения  $\sigma$  исправленными выборочными  $S$  и вычислим их, используя теорему сложения дисперсий:

$$\begin{aligned}
S^2 \overline{\Delta P}_i &= S^2 [(\overline{\Delta d}_{2 i+1} - \overline{\Delta d}_{2 i}) \operatorname{tg}(\beta/2)] = \\
&= (S^2 \overline{\Delta d}_{2 i+1} + S^2 \overline{\Delta d}_{2 i}) \operatorname{tg}(\beta/2) = \\
&= 1/n \cdot (S^2 \Delta d_{2 i+1} + S^2 \Delta d_{2 i}) \operatorname{tg}(\beta/2); \\
S \overline{\Delta P}_i &= [1/n \cdot (S^2 \overline{\Delta d}_{2 i+1} + S^2 \overline{\Delta d}_{2 i}) \operatorname{tg}(\beta/2)]^{1/2}; \\
S^2 \overline{\Delta P}_\Sigma &= S^2 [(\overline{\Delta d}_{2 10} - \overline{\Delta d}_{2 3}) \operatorname{tg}(\beta/2)] = \\
&= (S^2 \overline{\Delta d}_{2 10} + S^2 \overline{\Delta d}_{2 3}) \operatorname{tg}(\beta/2) = \\
&= 1/n \cdot (S^2 \Delta d_{2 10} + S^2 \Delta d_{2 3}) \operatorname{tg}(\beta/2); \\
S \overline{\Delta P}_\Sigma &= [1/n \cdot (S^2 \Delta d_{2 10} + S^2 \Delta d_{2 3}) \operatorname{tg}(\beta/2)]^{1/2},
\end{aligned}$$

где  $n$  – число повторений опытов;

$$\begin{aligned}
\overline{\Delta d}_{2 i} &= 1/n \cdot \sum_{i=1}^n \Delta d_{2 i} ; S \Delta d_{2 i} = [1/(n-1) \cdot \sum_{i=1}^n (\overline{\Delta d}_{2 i} - \\
&\quad - \overline{\Delta d}_{2 i})^2]^{1/2} .
\end{aligned}$$

Математическая обработка результатов измерений нарезанных образцов, выполненная на ЭВМ по проведенным выше зависимостям, выявила, что наибольшие отклонения шага имеют место на первых со стороны захода метчика витках резьбы. Это объясняется тем, что удельные осевые силы на этих витках больше, чем в глубине отверстия. Кроме того, здесь больше влияние радиальных сил в связи с меньшим, чем в глубине отверстия, защемлением метчика.

Анализ данных табл. 1 позволяет сделать некоторые выводы.

1. Математически значимо влияние почти всех исследованных факторов.  
2. Отклонения шага резьбы на 3-м витке изменялись в условиях эксперимента от 1 до 60 мкм, а накопленная ошибка шага – от 1 до 205 мкм.

3. Наименьшие ошибки шага при всех прочих равных условиях получены при использовании метчиков типа Б, мало чувствительных к воздействию осевых сил. Для них  $\overline{\Delta P}_3 = 1 \dots 5$  мкм, а  $\overline{\Delta P}_\Sigma = 1 \dots 32$  мкм, в то время как для метчиков типа А они были соответственно равны 26...60 и 105...205 мкм при нарезании резьбы в образцах твердостью 170 НВ с охлаждением сульфифрезолом.

4. Метчики типа Б оказались чувствительными к условиям работы, связанным с увеличением радиальных сил (биение метчика со шпинделем станка, нарезание резьбы при креплении метчика в плавающе-качающемся патроне).

5. На отклонение шага резьбы, нарезанной метчиками типа А, наиболее сильное влияние оказали факторы, связанные с подрезанием боковых сторон резьбы под воздействием осевых сил: способ нарезания резьбы, вид СОЖ.

Нарезание резьбы по резьбовому копиру и использование эмульсии вместо сульфифрезолола позволили уменьшить  $\overline{\Delta P}_\Sigma$  более чем в 100 раз. Несколько

Табл. 1. Погрешности шага резьбы

Исследуемый фактор	Метчик типа А				Метчик типа Б			
	Погрешности шага резьбы, мкм							
	на 3-м витке		накопленные		на 3-м витке		накопленные	
	$\Delta P_3$	$\pm \delta$	$\Delta P_\Sigma$	$\pm \delta$	$\Delta P_3$	$\pm \delta$	$\Delta P_3$	$\pm \delta$
Биение метчика со шпинделем станка $E$ , мм:								
0	28	18	126	45	2	2	1	2
0,2	30	20	124	45	5	6	32	10
0,4	26	18	105	30	2	2	8	4
Диаметр отверстия под резьбу $d$ , мм:								
13,62	—	—	—	—	3	2	3	2
13,84	—	—	—	—	3	2	1	2
14	—	—	—	—	3	2	4	4
14,14	—	—	—	—	4	2	2	4
СОЖ:								
сульфофрезол	45	29	205	45	3	2	4	4
эмульсия	5	1	12	6	1	1	2	4
Патрон:								
Ж	—	—	—	—	6	6	8	4
К	—	—	—	—	5	4	12	6
П	—	—	—	—	5	2	8	4
П-К	—	—	—	—	13	15	37	13
Способ нарезания:								
самозатягиванием по копиру	28	18	126	45	2	1	2	3
	1	1	1	2	3	0	2	2
Твердость образцов:								
170НВ	60	33	84	12	2	1	6	4
250НВ	13	15	45	11	1	1	4	4
320НВ	2	2	1	2	1	1	6	4
Обрабатываемый материал:								
сталь 45	5	2	12	5	1	1	2	4
сталь 20	13	5	17	4	4	2	1	2
чугун СЧ18-36	3	2	6	4	2	1	4	4
Al	1	1	10	6	2	1	4	4

Примечания: 1. Средние значения отклонения шага резьбы на 3-м витке  $\Delta P_3$  и накопленные ошибки шага должны быть со знаком минус (усадка);  $\pm \delta$  — доверительный интервал.

2. В рамки заключены статистически значимые результаты.

3. Отклонения шага резьбы определены для ее неопорных сторон, которые не воспринимают осевых сил.

слабее оказалось влияние твердости обрабатываемого материала. С ее увеличением от 170 до 320 НВ уменьшилось в 80 раз  $\overline{\Delta P}_{\Sigma}$ .

6. Вид обрабатываемого материала при нарезании резьбы с эмульсией имеет существенное значение только для метчиков типа А. При этом  $\overline{\Delta P}_{\Sigma}$  изменяется от 6 до 17 мкм. Меньшие значения  $\overline{\Delta P}_{\Sigma}$  получены при материалах, обладающих повышенными упругими свойствами.

С целью уменьшения ошибок шага следует ограничивать влияние осевых сил на процесс резьбообработки:

нарезать резьбу с принудительной осевой подачей метчика, например по резьбовому копиру;

использовать метчики, не чувствительные к воздействию осевых сил, — незатылованные по профилю или затылованные не на всей ширине пера, с опорными элементами, воспринимающими осевые силы (типа метчиков с бочкообразным зубом), с правыми винтовыми канавками для правой резьбы и др.;

использовать СОЖ с хорошей проникающей и смазывающей способностью.

Для повышения точности резьб по шагу необходимо уменьшать радиальные силы резания за счет оптимизации угла заборной части метчика; крепить метчики в подвижных патронах с малым числом подвижных сочленений обязательно с трением качения, например плавающих, или с внутренним трением типа сальфонных.

УДК 621.951

М.А. КОРНИЕВИЧ

### ВЛИЯНИЕ УГЛОВ ЗАТОЧКИ ШНЕКОВОГО СВЕРЛА НА РАЗБИВКУ И УВОД ОСИ ОТВЕРСТИЯ

На точность обработки отверстий при сверлении оказывают влияние глубина сверления, скорость резания и подача, погрешности заточки и геометрические параметры инструмента и др. Применение кондукторных втулок способствует значительному уменьшению разбивки и увода оси отверстия. Наименее исследована зависимость точности обработанного отверстия от углов заточки шнековых сверл. Поэтому был исследован процесс сверления образцов из аустенитной стали 12Х21Н5Т на токарном станке мод. 1К62. Образцы помещались в специальное приспособление, наполненное 5 %-м раствором эмульсии. Расстояние между кондукторной втулкой и торцом детали составляло 1,5 диаметра сверла. Износ по задней поверхности сверл диаметром 16 мм не превышал 0,3 мм.

Исследовалось влияние на разбивку  $\delta$  и увод оси отверстия  $\Delta$  углов заточки шнекового сверла в следующих пределах: углы при вершине  $2\varphi = 100...140^\circ$  и  $2\varphi_0 = 57...103^\circ$ ; передние углы  $\gamma = 1,2...22,8^\circ$ ; задние углы  $\alpha_0 = 5,7...24,3^\circ$ ; углы наклона стружколома  $\tau = 0,2...13,2^\circ$ . Главный задний угол  $\alpha = 14^\circ$  не изменялся. Эксперименты повторялись по 2 раза при скорости резания 10 м/мин и подаче 0,11 мм/об для каждого сочетания углов.