

Сравнительное исследование точности отверстий в деталях из серого чугуна при вибросверлильной обработке (часть 2)

11, ноябрь 2014

Соловьёв А. И., Джафарова Ш. И.

УДК: 621.952.2

Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

a-solovev@bk.ru

По результатам ранее проведенных теоретических исследований [1] установлено, что отклонения расположения и формы поверхностей глубокого отверстия в большой степени определяются погрешностью на входном торце и механизмом ее копирования по длине обработки.

Данное утверждение было подтверждено экспериментально при обработке деталей из силумина [2], как для случая сверления без наложения вибраций на инструмент одностороннего резания, так и для случая сверления при наложении осевых вибраций на инструмент. Однако, копирование различных погрешностей происходит с разной интенсивностью. Объяснение такого явления требует дополнительных экспериментальных исследований.

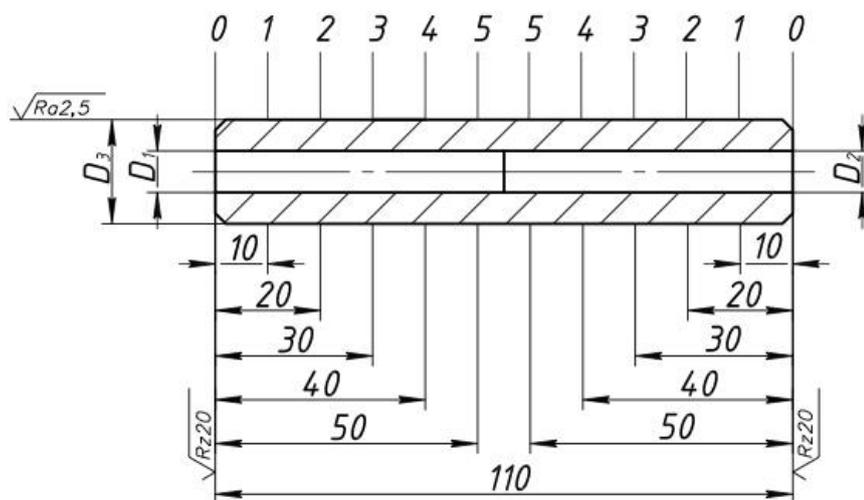
Одним из часто применяемых в машиностроении материалов является серый чугун марки СЧ10, из которого были изготовлены экспериментальные образцы (рис. 1).

Их протачивали по торцам до Rz 20 мкм и по наружной поверхности до Ra 2,5 мкм. Образцы сверлили с одной стороны на половину длины, а затем с другой стороны на ту же длину. Суммарная длина сверления с каждой стороны составила 55 мм. Параметры точности обработки фиксировали в различных сочетаниях по шести сечениям (0, 1, 2, 3, 4, 5) с шагом 10 мм по длине образца. Сравнительные эксперименты проведены для обычного (схема 1) и вибрационного сверления (схема 2) по методике, представленной в таблице 1.

Закрепленную в патроне 4 вращающуюся заготовку 1 обрабатывали невращающимся сверлом одностороннего резания 2, подаваемым через кондукторную втулку 3 на станке модели ВС-5.

После обработки измеряли следующие параметры геометрической точности отверстия: Δ_p – отклонение размера; Δ_{p6} – радиальное биение обработанной поверхности (непосредственно после обработки на станке); $\Delta_{\phi}^{ноп}$ (C_k) – отклонение формы в поперечном сечении.

Номер сечения



Обрабатываемый материал	D1; D2	D3
Серый чугун СЧ10	8мм	20мм

Рис.1. Экспериментальные образцы

Исследуемые схемы глубокого сверления

Таблица 1

Схема обработки	Модель станка	Обрабатываемые материалы	Режимы обработки	Исследуемые факторы
	BC-5	Серый чугун СЧ10	$n=1510; 2100; 2680$ об/мин $V=38; 53; 67,3$ м/мин $S_n=34,5; 53; 74,5$ мм/мин $S=0,013...0,049$ мм/об	$\Delta p;$ $\Delta p. \delta;$ $\Delta \phi^{non} (C_k);$
	BC-5	Серый чугун СЧ10	$n=1510; 2100; 2680$ об/мин $V=38; 53; 67,3$ м/мин $S_n=34,5; 53; 74,5$ мм/мин $S=0,013...0,049$ мм/об $2A=0,13; 0,33$ мм $f=33,5; 105$ Гц	$\Delta p;$ $\Delta p. \delta;$ $\Delta \phi^{non} (C_k);$

Обозначения: 1 - заготовка; 2 - сверло одностороннего резания;
 3 - кондукторная втулка; 4 - зажимное приспособление

Сверление проводили сверлами одностороннего резания с плоскостной заточкой и геометрическими параметрами режущей части, такими же как при обработке силумина марки АЛ9 [2].

Принятые при сверлении режимы резания представлены в таблице 1, давление смазочно-охлаждающей среды (масло марки МР-1 по ТУ 3821-01039-70) поддерживали в пределах $p=50 \text{ кгс/см}^2$ ($4,9 \cdot 10^6 \text{ Па}$) при расходе масла $Q=6,5 \text{ л/мин}$. Средства и методика измерений параметров геометрической точности обработанных отверстий применялись и производились так же, как при обработке силумина [2].

При реализации полного факторного эксперимента каждый опыт повторен трижды, а результаты обработаны с помощью регрессионного и гармонического анализа.

Для образцов, обработанных по схеме 1 установлено, что погрешность размера как на участке врезания (0), так и в последнем сечении (5) по длине образца, определяется скоростью резания:

$$\Delta_p(0) = 11,2908 - 4,5575V + 4,1434S_M - 0,0198275VS_M + \\ + 0,056266V^2 - 0,029175S_M^2, \text{ мкм.}$$

Для сечения 5 имеем:

$$\Delta_p(5) = 50,8087 - 5,9779V + 3,6583S_M - 0,0206892VS_M + \\ + 0,0705344V^2 - 0,0241675S_M^2, \text{ мкм.}$$

При сверлении отклонение размера нелинейно зависит от режимов обработки. Минимальные значения Δ_p наблюдаются на скоростях, близких к 38 м/мин, как в сечении 0, так и в сечении 5. На определенных режимах обработки диаметр отверстия меньше диаметра инструмента. Наблюдается так называемая «усадка», но она невелика. На заходном участке она не превышает 2 мкм, в сечении 5 – не более 12 мкм (рис. 2, а). Наибольшая «разбивка» отверстия $\Delta_p=27 \text{ мкм}$ имеет место при $V=67 \text{ м/мин}$ и $S_M=53 \text{ мм/мин}$ на участке врезания. В сечении 5 она уменьшается до 21 мкм. Наибольшая разница Δ_p на участках врезания и окончания обработки (соответственно 0 и 5) достигает $\Delta_{\phi}^{\text{прод}}=12 \text{ мкм}$ при $V=67 \text{ м/мин}$ и $S_M=53 \text{ мм/мин}$.

Результаты данных исследований необходимо сопоставить с проведенными ранее при обработке образцов из цветного сплава силумина [2].

Одним из значительных отличий в формировании погрешности размера при обработке силумина марки АЛ9 является то, что во всем диапазоне исследуемых режимов обработки получается «разбивка» отверстия с наибольшим значением на участке врезания 0 с последующим уменьшением по длине. Это характеризует отклонение формы отверстия в продольном сечении с наибольшей величиной $\Delta_{\phi}^{\text{прод}}=8 \text{ мкм}$.

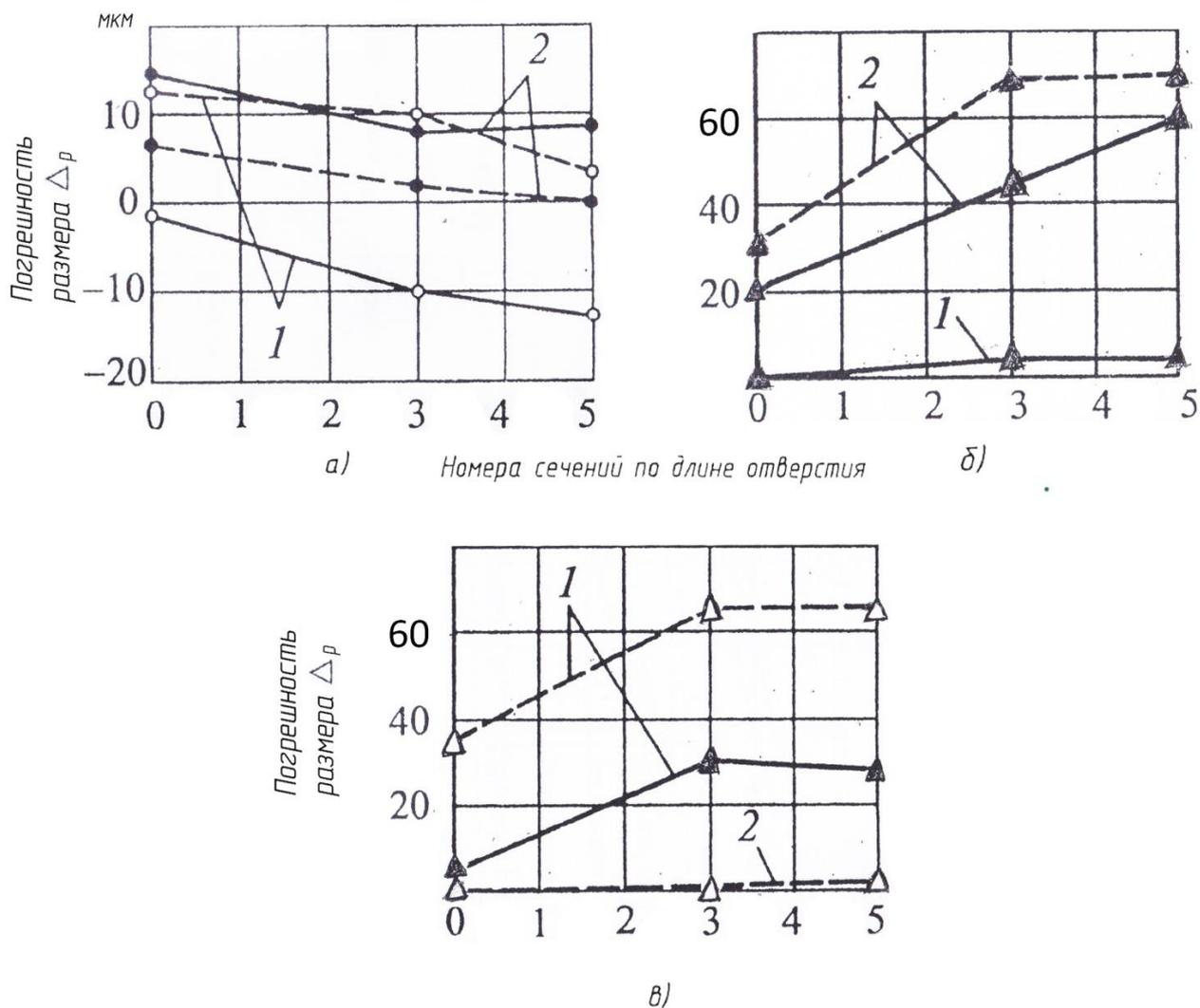


Рис. 2. Изменение погрешности размера Δr по длине отверстия при:

а – обычном сверлении,

б – вибрационном сверлении при постоянной $f=33.5$ Гц;

в – вибрационном сверлении при различных амплитудах колебаний инструмента ;

1 – $V=38$ м/мин;

2 – $V=67$ м/мин;

$\Delta-A=0.065$ мм;

$\Delta-A=0.165$ мм;

— $S_m=34.5$ мм/мин;

— — $S_m=74.5$ мм/мин;

В настоящем исследовании для серого чугуна наблюдается качественно аналогичная картина уменьшения погрешности размера от сечения 0 до сечения 5 отверстия (рис.2,а). Однако при этом наблюдается как «разбивка», так и «усадка» диаметра отверстия, а отклонение формы достигает $\Delta_{\phi}^{\text{прод}}=12$ мкм.

Сравнительные показатели точности обработки глубоких отверстий при вибрационном сверлении были получены при реализации схемы 2 (таблица 1).

Во всех случаях вибросверления серого чугуна (рис. 2, б и 2, в) наблюдалась «разбивка» отверстия в отличие от обычного сверления (рис. 2, а), где наблюдалась даже «усадка» отверстия. На увеличение Δ_p по длине отверстия доминирующее влияние имеет скорость резания (рис. 2, б) и амплитуда осевых колебаний инструмента во всем диапазоне вибрационных режимов обработки. Так $\Delta_p=2$ мкм в сечении 0 при $V=38$ м/мин; $S_M=74,5$ мм/мин; $f=33,5$ Гц; $A=0,065$ мм и $\Delta_p=38$ мкм при $A=0,165$ мм. При увеличении значения A возрастает и погрешность формы отверстия в продольном сечении $\Delta_\phi^{\text{прод}}$. При тех же режимах обработки в сечении 5 и $A=0,065$ мм имеем $\Delta_p=2$ мкм, а при $A=0,165$ мм ее величина возрастает до $\Delta_p=67$ мкм. В соответствии с этим $\Delta_\phi^{\text{прод}}=25$ мкм при $A=0,065$ мм и $\Delta_\phi^{\text{прод}}=29$ мкм при $A=0,165$ мм.

Погрешность размера по длине вибрационного сверления серого чугуна имеет существенную тенденцию к росту (рис. 2, б и 2, в), чего не наблюдается при сверлении без наложения осевых вибраций на инструмент (рис. 2, а).

Механизм переноса погрешности размера при вибросверлении иной. Для обоих обрабатываемых материалов наблюдалась только «разбивка» отверстия, которая по величине существенно превосходит аналогичные показания в тех же сечениях отверстия. При этом возрастает влияние скорости резания на величину Δ_p от $\Delta_p(0)=18\dots 80$ мкм на участке врезания и до $\Delta_p(5)=53\dots 130$ мкм – на участке 5 для силумина и, соответственно, от $\Delta_p(0)=2\dots 32$ мкм до $\Delta_p(5)=5\dots 70$ мкм для серого чугуна. Таким образом, погрешность формы при вибросверлении для силумина возрастает от 1,3 раза и более на заднем участке отверстия и от 2 раз и более на участке 5. В свою очередь при обработке серого чугуна $\Delta_\phi^{\text{прод}}$ увеличивается от 1,2 раз на заднем участке и от 3 раз на участке 5.

Используя теоретические разработки [2] и результаты регрессионного анализа данного исследования для серого чугуна получена зависимость, по которой может быть подсчитана величина радиального биения $\Delta_{pб}$ по длине обрабатываемого отверстия $l_{обп}$ с учетом исходного радиального биения направляющей кондукторной втулки $\Delta_{pб}^{\text{ВТ}}$ не более 0,02 мм:

$$\Delta_{pб}(l_{обп}) = 0,0432\Delta_{pб}^{\text{ВТ}} \left(1 + \frac{3a}{2l}\right)^{\frac{l_{обп}}{a}} (V - 13,3) - \frac{1,825(V - 56,2)l_{обп}}{50}, \text{ мкм.}$$

При данной схеме обработки, величина радиального биения сильно зависит от скорости резания. Так при $V=67$ м/мин и $S_M=53$ мм/мин величина радиального биения значительно изменяется по сечениям отверстия от $\Delta_p(0) = 180$ мкм до $\Delta_p(5) = 330$ мкм.

Значение величины $\Delta_{pб}$ существенно зависит от скорости резания по обоим исследуемым схемам 1 и 2 для участка начала (сечение 0) и окончания (сечение 5) обработки, при этом влияние подачи незначительно. Во всем диапазоне исследуемых скоростей происходит рост величины радиального биения на 25...50 мкм. С увеличением амплитуды колебаний инструмента с $A=0,065$ мм до $A=0,165$ мм происходит увеличение $\Delta_{pб}$ не более чем на 10...15 мкм.

Следует отметить, что интенсивность роста величины радиального биения при вибрационном сверлении значительно больше и особенно в конце обработки (сечение 5). Если в сечении 0 разница в величинах $\Delta_{pб}$ достигает от 4 мкм до 21 мкм, то в сечении 5 уже достигает от 26 мкм до 53 мкм (рис. 3, а и 3, б) при аналогичных режимах резания. Поэто-

му можно рекомендовать следующие режимы резания для получения наименьших значений $\Delta_{рб}$ при обработке серого чугуна $V=38$ м/мин; $S_M=53...74,5$ мм/мин; $A=0,065$ мм и $f=33,5$ Гц.

В тоже время величина радиального биения для схем обработки 1 и 2 при сверлении силумина [2] и серого чугуна сильнее всего зависит от уровня скорости резания (рис. 3а и 3б). При одних и тех же условиях резания силумина величина $\Delta_{рб}$ несколько уменьшается при вибрационном сверлении, а для серого чугуна незначительно возрастает в сечении 0.

В сечении 5 величина $\Delta_{рб}$ уменьшается от 1,2 до 2,5 раз для силумина и возрастает от 1,4 до 2 раз для серого чугуна.

Поскольку радиальное биение является комплексным показателем точности отверстия, в его состав входит погрешность формы отверстия в поперечном сечении и весь спектр амплитуд гармонических составляющих C_K , можно утверждать, что величина скорости резания оказывает доминирующее влияние и на величины амплитуд первых трех гармонических составляющих C_1, C_2, C_3 . Именно эти составляющие вносят наибольший удельный вес в $\Delta_{ф}^{поп}$ для обоих обрабатываемых материалов и схем обработки.

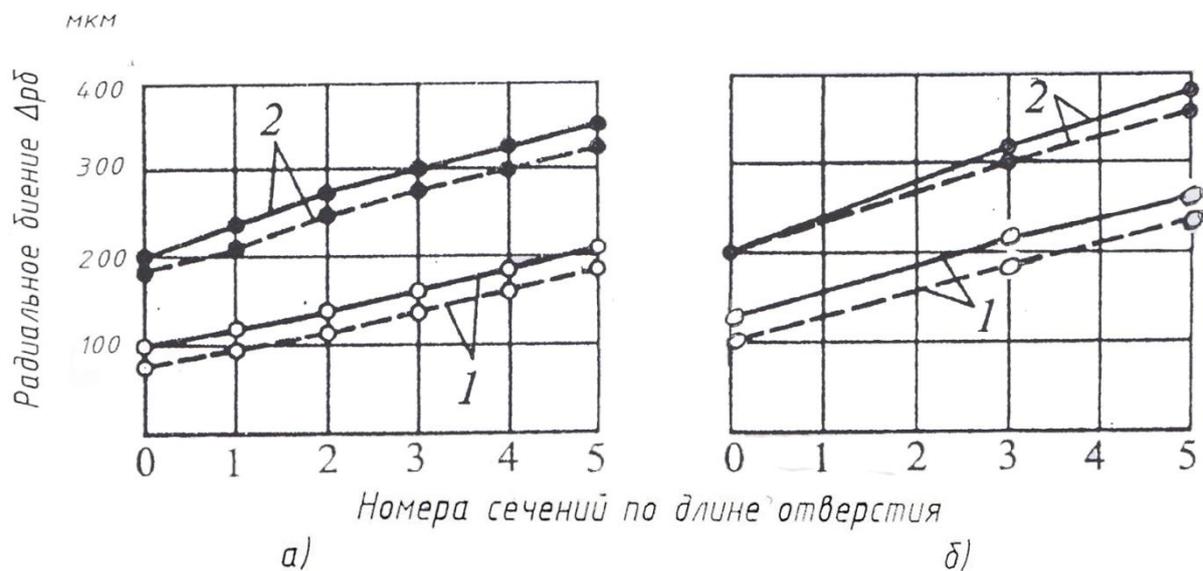


Рис.3. Изменение радиального биения $\Delta_{рб}$ по длине отверстия при:

а - обычном сверлении

б - вибрационном сверлении для постоянных

$f=33,5$ Гц; $A=0,065$ мм;

1 - $V=38$ м/мин; — — — $S_M=34,5$ мм/мин;

2 - $V=67$ м/мин; — — — $S_M=74,5$ мм/мин;

Представим зависимости величин амплитуд гармонических составляющих C_K от режимов резания, полученные при обработке серого чугуна (в сечении 5) по схеме 1:

$$C_1 = 216,007 - 4,34932V - 2,55626S_M + 0,0685844V^2 - 0,0199175S_M^2, \text{ мкм.}$$

$$C_2 = 2,7029 + 0,10917V^2, \text{ мкм.}$$

$$C_3 = -49,9903 + 2,32852V - 0,024029V^2, \text{ мкм.}$$

$$C_4 = 13,34 - 0,11879V - 0,11879S_M + 0,0022414VS_M, \text{ мкм.}$$

$$C_5 = 1,5884 + 0,08848V, \text{ мкм.}$$

$$C_6 = 19,7516 - 0,26638V - 0,26095S_M + 0,0043104VS_M, \text{ мкм.}$$

Для большинства амплитуд гармонических составляющих можно отметить рост их величин с увеличением скорости резания. Наибольшую величину среди шести амплитуд гармонических составляющих имеет первая составляющая C_1 (рис.4). На заходном участке $C_1=47...150$ мкм, а в сечении 5 $C_1=107...183$ мкм, таким образом наблюдается рост первой гармонической составляющей по длине отверстия в 1,2...2,3 раза.

Вибросверление серого чугуна позволяет уменьшить величины амплитуд четных C_2, C_4, C_6 гармонических составляющих при некотором увеличении амплитуд нечетных C_1, C_3, C_5 (рис. 4 и 5), величина подачи большого значения не имеет. Увеличение амплитуды осевых колебаний сверла при наименьшем уровне подачи $S_M=34,5$ мм/мин; $V=38$ м/мин; $f=33,5$ Гц приводит, как правило, к небольшому увеличению значений C_K . Следовательно лучше назначать для обработки серого чугуна $A=0,065$ мм и $f=33,5$ Гц, так как изменение частоты колебаний не дает существенного снижения величин C_K во всем диапазоне испытываемых режимов резания.

Однако при вибросверлении силумина происходит уменьшение величин амплитуд всех шести гармонических составляющих [2].

Такой разный характер однотипных зависимостей точности обработки отверстий может объясняться влиянием температурно-скоростных факторов на контактные явления в трущихся поверхностях однолезвийного сверла с заготовками из разных материалов (серого чугуна и силумина), а также особенностью в механизмах копирования погрешностей при обычном и вибрационном сверлении.

При обычном сверлении формообразующая (режущая) вершина сверла и направляющая инструмента проходят на каждом сечении по длине отверстия только один раз, а при вибрационном сверлении - проходят многократно в зависимости от сочетания величин амплитуды и частоты осевых колебаний и величины подачи инструмента.

Поэтому при вибросверлении в технологической системе отверстие - сверло наблюдается процесс «выхаживания» режущей вершиной сверла и выглаживающей поверхностью направляющей инструмента по поверхности отверстия. А сжатая внутри отверстия технологическая система, имеет возможность снимать дополнительно стружку и выглаживать микронеровности отверстия, тем самым разжимаясь в радиальном направлении. Результатом действия такого механизма является отсутствие «усадки» отверстия во всех случаях вибросверления исследуемых условий обработки и обрабатываемых материалов, что следует учитывать при проектировании операций механической обработки инструментами одностороннего резания.

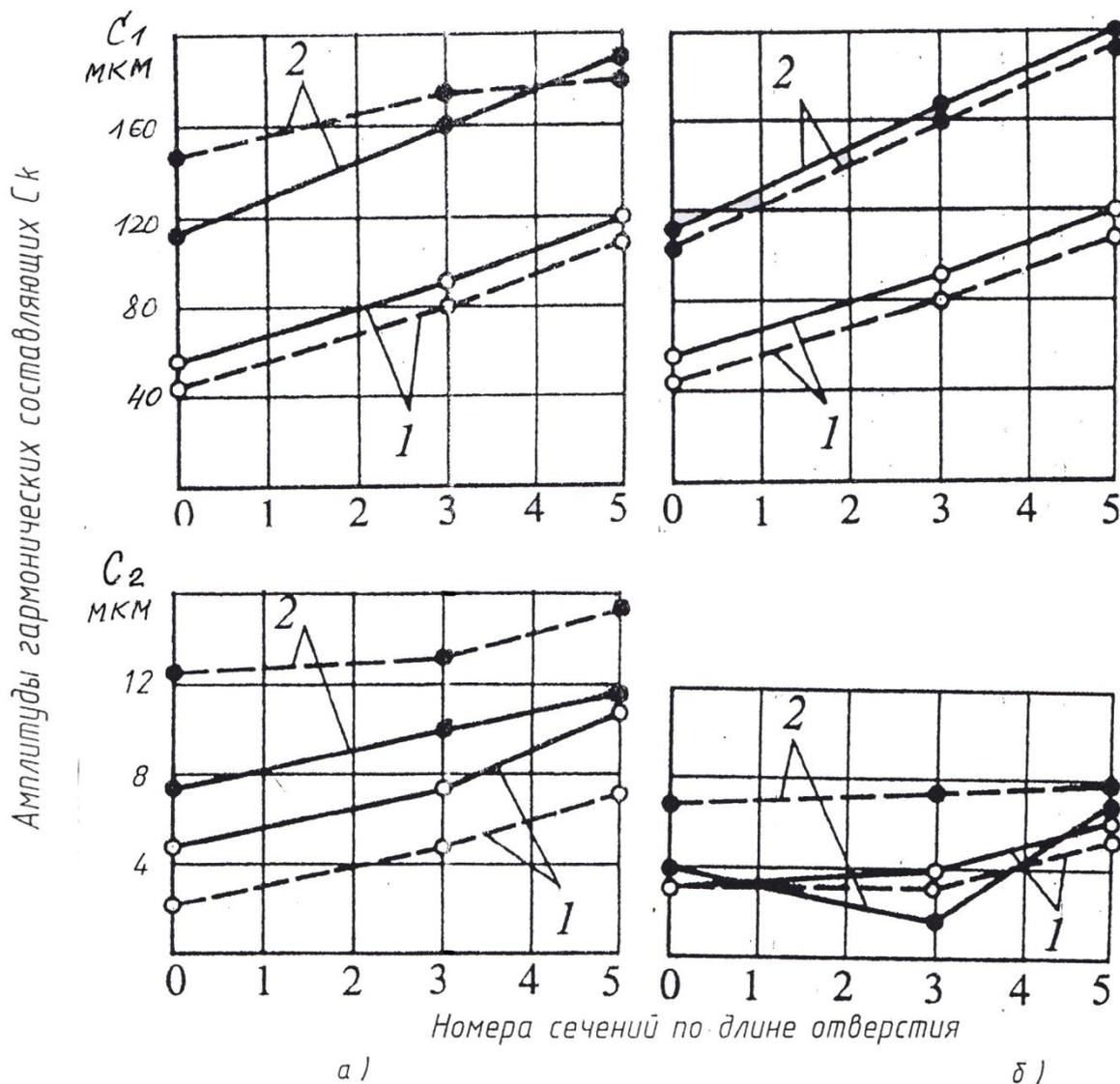


Рис. 4. Изменение амплитуды гармонических составляющих C_1 и C_2 по длине отверстия при:

а - обычном сверлении;

б - вибрационном сверлении при постоянных $f=33.5$ Гц; $2A=0.13$ мм;

1 - $V=38$ мм/мин; — $S_m=34,5$ мм/мин;
 2 - $V=67$ мм/мин; - - $S_m=74,5$ мм/мин;

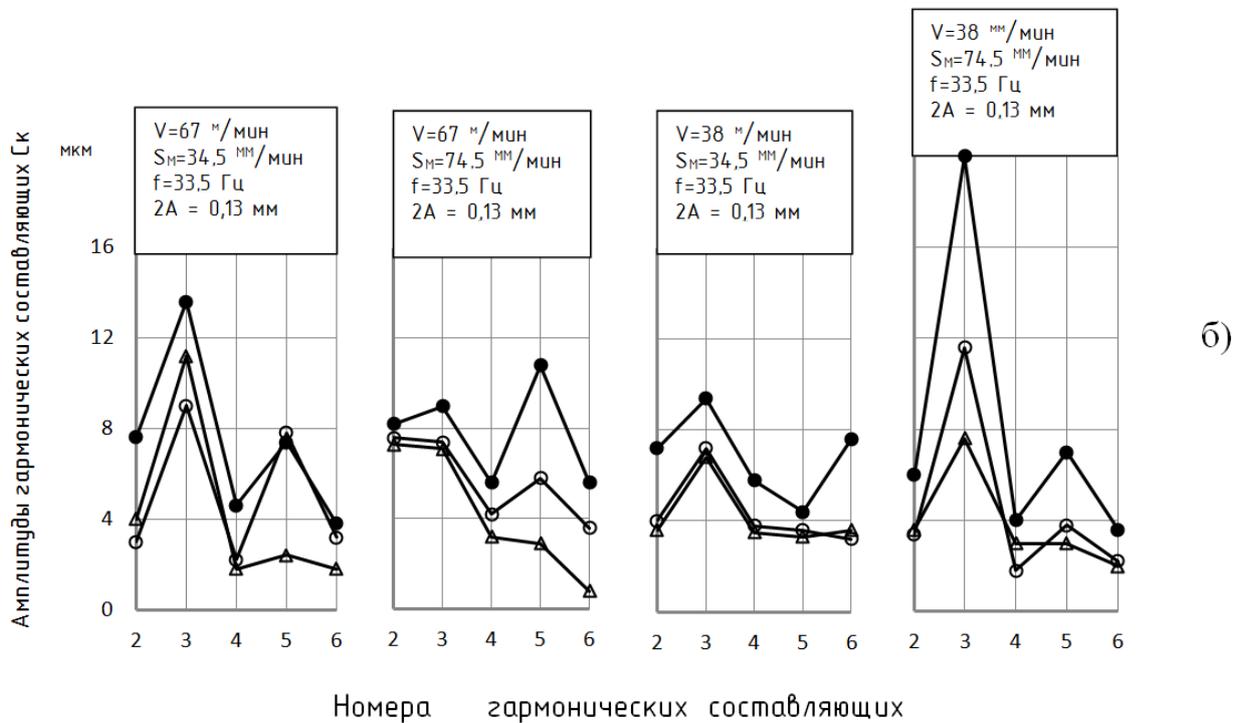
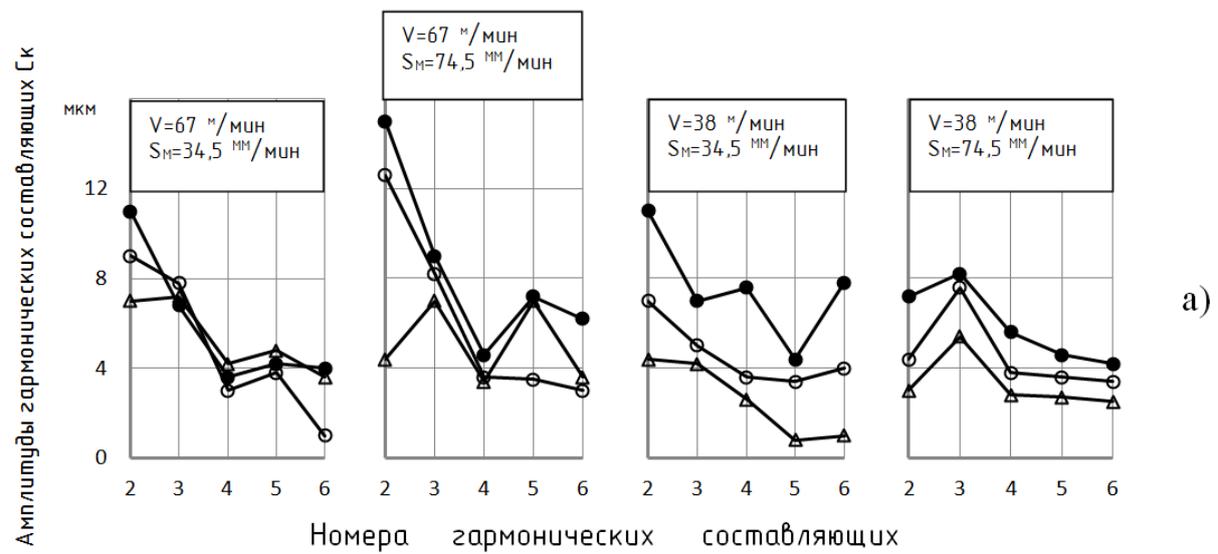


Рис. 5 Влияние условий обработки на величины гармонических составляющих $C_2 \dots C_6$ при:

- а - обычном сверлении;
- б - вибрационном сверлении;
- Δ - сечение 0;
- \circ - сечение 3;
- \bullet - сечение 5

Список литературы

1. Образование погрешностей при обработке глубоких отверстий /А.И. Соловьев// Прогрессивная технология механосборочного производства: Труды МГТУ №535. Изд-во МГТУ-М.: 1989. с. 92-104.
2. Соловьев А.И., Джафарова Ш.И. Сравнительные исследования точности отверстий в деталях из силумина при вибросверлильной обработке// Инженерный вестник. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2012. №10.