

ВЛИЯНИЕ СИСТЕМАТИЧЕСКИХ И СЛУЧАЙНЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ
НА ДОСТОВЕРНОСТЬ ОЦЕНКИ СТОЙКОСТИ
ЛЕЗВИЙНОГО ИНСТРУМЕНТА

Обсуждены основные требования, направленные на повышение достоверности оценки сравнительной стойкости режущего инструмента. Особо выделен вопрос обоснованного выбора минимально достаточного объема выборки для статистической оценки стойкости инструмента с наперед заданной надежностью.

Стойкость режущего инструмента во многом определяет технико-экономическую эффективность механической обработки. Необходимая достоверность при ее оценке может быть достигнута только при проведении испытаний в производственных условиях. Высокая трудоемкость и длительность подобных методов в сочетании со значительной металлоемкостью и стоимостью предопределяют важность минимизации объема выборки при сохранении ее репрезентативности. При закреплении ряда характерных параметров процесса (материал и геометрические параметры обрабатываемых заготовок и инструмента, режимы резания и охлаждения зоны резания и др.) достоверные сравнительные результаты могут быть получены с привлечением достаточно корректно обоснованных имитационных способов и, в частности, квазианалоговых методов испытаний [1, 2]. Эти вопросы требуют, однако, самостоятельного рассмотрения. Вместе с тем при испытаниях в производственных условиях хорошо известно: с одной стороны, имеет место существенный разброс данных по стойкости режущего инструмента (до 6-12 раз) [3, 4], с другой – реализуемые в эксперименте технологические способы обеспечивают повышение стойкости инструмента, как правило, не более 1,2-1,8 раза.

Таким образом, возникает задача повышения достоверности оценки стойкости режущего инструмента при существенном разбросе стойкости относительно среднего значения и ограниченном повышении относитель-

ного уровня стойкости, которое обычно находится внутри поля рассеяния результатов. Отметим: достоверность результатов испытаний в общем случае зависит от систематических и случайных погрешностей, возникающих на различных технологических стадиях изготовления инструмента и в процессе его эксплуатации.

К числу наиболее распространенных систематических погрешностей следует отнести: металлургическую наследственность, схему и параметры термомеханической обработки от исходной заготовки до соответствующего сортамента проката, схему и параметры объемной термической и поверхностной упрочняющей обработки, уровень жесткости в системе СПИД, технологические параметры обработки. Вместе с тем типичным для металлообработки является трансляция систематических погрешностей в категорию случайных погрешностей. Это обусловлено:

1) нарушением принципов поплавочной поставки, хранения и запуска стали в технологический поток на машиностроительных заводах;

2) отсутствием прямых договорных связей с поставщиком проката, внесением эпизодических технологических изменений в традиционные процессы на металлургическом заводе;

3) термической обработкой инструмента на кооперированных начальных, а также после выполнения работ по ремонту печей, при изменении энергоносителя или его поставщика и др. Еще шире круг причин, вызывающих при термообработке напрямую чисто случайные погрешности: отличие по массе загружаемого металла; загрузка в ванны печи инструмента в приспособлениях, которые не обеспечивают однородности контактирования солевого расплава с различными зонами садки; возможные отклонения по времени на различных этапах термообработки (подогрев — высокотемпературная выдержка — подотжигивание — охлаждение); различный уровень раскисления соляных ванн в начале и конце смены; различные температурные условия охлаждения при собственно закалке (по температурным условиям масляных ванн или проточной воды, либо окружающего воздуха); существенные колебания по продолжительности паузы между закалкой и отпуском и т.п. Не меньшее количество случайных погрешностей характерно и для процессов упрочняющей обработки инструмента. Например, для ионно-вакуумного напыления это: топология размещения объекта напыления и пространственная траектория его движения, теплопроводность и массивность подложки, глубина вакуума, влажность и чистота реакционного газа, химическая чистота распыляемого

катода, угол атаки при ионной бомбардировке, стабильность ионизирующего и ускоряющего напряжения на каждой последовательной технологической стадии, качество предварительной очистки и шероховатость поверхности объекта напыления;

4) износом узлов трения в процессе эксплуатации металлорежущих станков, завышением скорости перемещения исполнительных органов машин, неизбежно связанным с тенденцией к повышению производительности обработки. Большая группа факторов, возникающих в эксплуатационных условиях, изначально формирует случайные погрешности. В их числе: нежесткое и эксцентричное закрепление инструмента, эксцентричное закрепление или подача заготовок с искривленной осью в зону обработки, использование лезвийного инструмента с повышенной склонностью к хрупкому разрушению (микровыкрашивание режущих кромок приводит к появлению вибрационного эффекта);

5) нестабильность технологических параметров обработки. К их числу следует отнести изменение обрабатываемости, а также режимы резания. С первого взгляда последние представляются как источники формирования систематических погрешностей. Этот вывод, однако, справедлив только в "рафинированных" условиях обработки, когда отсутствуют эффекты "неравномерности" и "неоднозначности" условий, предопределяющих обрабатываемость объекта. Дополнительно следует заметить, что свойства инструментального материала и геометрические параметры режущего инструмента являются неизменными. Вместе с тем известно, что нормируемые для конкретного инструмента значения твердости могут быть достигнуты при заметно различных схемах и параметрах упрочняющей обработки инструмента. Не следует также упускать из поля зрения возможность преднамеренных нарушений технологических режимов резания (например, увеличение подачи или скорости резания) в целях повышения сменной выработки. Соответственно в реальных, а не "рафинированных" условиях обработки режимы резания становятся критичными к самим условиям испытаний. Закрепление режимов резания не гарантирует формирования в этих условиях систематических погрешностей. В реальных условиях эта категория погрешностей носит также случайный характер. Справочная информация по выбору оптимальных режимов резания [4, 5] должна рассматриваться, в этой связи, как существенно ориентировочная. В каждом конкретном случае реальным условиям эксплуатации в системе "инструмент - обрабатываемая заготовка" должны

быть поставлены в соответствие экспериментально подтвержденные оптимальные режимы резания.

Таким образом, достоверность оценки результатов сравнительных испытаний для различных серий режущего инструмента, различающихся по технологическим схемам и режимам упрочнения, существенно искажается формированием в реальных эксплуатационных условиях целого спектра случайных погрешностей. Отмеченное предопределяет необходимость реализации ряда мер по повышению достоверности при оценке сравнительной стойкости режущего инструмента. Соответственно может быть сформулировано несколько требований, направленных на решение этой задачи:

уменьшить пакет случайных погрешностей, исключив перевод систематических погрешностей в случайные. Это предопределяет необходимость поплавочного запуска инструментальной стали и обрабатываемого материала в технологическую обработку и проведения испытаний на закрепленном станке или равными партиями на группе закрепленных станков. При невозможности идентификации плавки инструментальной стали в эксперименте задача достижения однородности выборки на каждый вариант может быть решена путем равномерной шихтовки вариантов из нормированного наперед заданного набора прутков. Сами испытания должны проводиться с использованием гарантированного самоцентрирующего инструмента (например, за счет применения инструмента с коническим хвостовиком);

по возможности уменьшить появление случайных погрешностей, а также снизить уровень их влияния на конечные результаты по долговечности инструмента.

При значительном влиянии случайных погрешностей на уровень стойкости режущего инструмента самостоятельное и важное значение имеет вся совокупность вопросов, связанных с повышением достоверности оценки стойкости лезвийного инструмента методами статистического анализа. С учетом дефицитности и высокой стоимости инструмента принципиальное значение имеет назначение предельно экономичной выборки с гарантированным выходом на наперед заданную вероятность (надежность) оценки.

Получение достоверной оценки опирается на решение подобных задач в два этапа:

определение объема выборки n (потребное количество инстру-

мента для экспертных испытаний), достаточного для оценки генерального среднего значения показателя \bar{x} (средняя стойкость инструмента) с наперед заданной надежностью γ при принятой ошибке измерения стойкости;

проверка гипотезы о значимости увеличения выборочного среднего значения показателя x_* при реализации нового (или совершенствовании типового) технологического процесса по сравнению с его базами (для типовой технологии упрочняющей обработки) значением x_0 при заданной γ (с учетом установленной из эксперимента устойчивости значений показателя x_i).

Из ранее отмеченного следует: формирование параметров качества режущего инструмента носит стохастический характер. Следовательно, поставленную задачу необходимо решать методами математической статистики [5].

Объем выборки, достаточный для получения достоверных результатов, определим по формуле

$$n = \left\{ \frac{t_{\gamma} S^2}{\Delta^2} + 1 \right\},$$

где t_{γ} - критическая точка, определяемая при нормальном законе распределения показателя стойкости (характер распределения подтвержден в эксперименте) по таблицам функции Лапласа;

S - исправленное среднее квадратическое отклонение показателя;

Δ - абсолютная ошибка измерения (определения) показателя
Фигурные скобки обозначают целую часть выражения.

В технологических задачах обычно удобнее задавать не абсолютную, а относительную ω ошибку измерения. Тогда

$$n = \left\{ \frac{t_{\gamma} W^2}{\omega^2} + 1 \right\},$$

где W - коэффициент вариации значений показателя стойкости.

На втором этапе осуществим проверку гипотезы о существенности превышения среднего значения показателя \bar{x}_* , достигнутого в новом технологическом процессе, над средним значением \bar{x}_0 для

базового технологического варианта. Оценки должны быть сделаны для всех полученных значений n в зависимости от устойчивости значений x_1 . При нормальном законе распределения указанная гипотеза применяется, если

$$U_H \geq U_{кр},$$

$$U_H = \frac{(\bar{x}_* - \bar{x}_0) \sqrt{n}}{\sigma^2}, \quad (I)$$

где U_H - наблюдаемое в эксперименте значение критерия;

$U_{кр}$ - критическое значение критерия, вычисленное с помощью таблиц функции Лапласа из соотношения $\Phi(U_{кр}) = \gamma - 0,5$;

σ^2 - значение дисперсии.

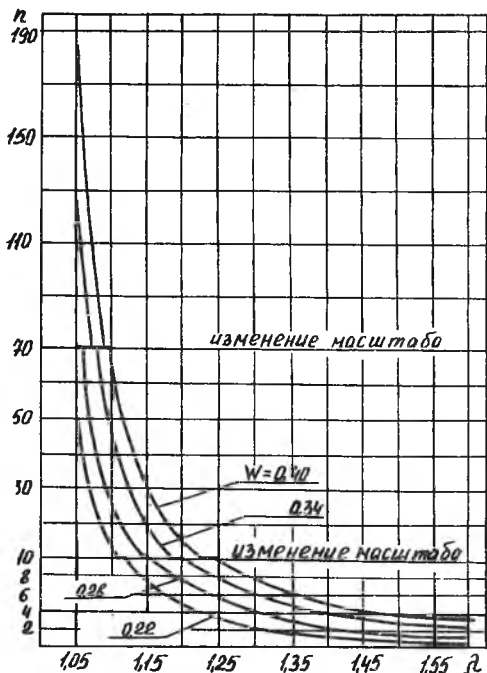
В технологических исследованиях на втором этапе задача часто формулируется следующим образом: каков минимальный объем выборки для режущего инструмента, упрочненного по новой технологии, при котором различие между \bar{x}_* и \bar{x}_0 является существенным при наперед заданной надежности γ ?

Нетрудно показать, что из (I) можно получить

$$n = \left\{ U_{кр}^2 \frac{W^2}{(1 - 1/2)^2} + 1 \right\}, \quad (2)$$

где $A = \frac{\bar{x}_*}{\bar{x}_0}$ - относительное превышение среднего значения стойкости режущего инструмента, упрочненного по новой технологии, над стойкостью при типовой схеме упрочнения.

Для инженерного приложения представим зависимость (2) при $\gamma = 0,95$ графически (см. рисунок) при варьировании W в интервале 0,22-0,40, а A - в интервале 1,05-1,60. Из анализа приведенных данных следует, что снижение устойчивости (стабильности) результатов по стойкости (уменьшение численного значения W) заметно (в 2,5-3,3 раза) сказывается на увеличении минимально потребного количества экспертных испытаний инструмента (на численном значении n). При оценке достоверности результатов стойкостных испытаний важное значение имеет не только средняя стойкость инструмента, но и устойчивость значений (учитывает рассеяние результа-



Р и с. Зависимость объема достоверной выборки n от относительного повышения стойкости инструмента ρ при различных закрепленных значениях коэффициента вариации значений показателя стойкости W и значении надежности $\gamma = 0,95$

тов в пределах между их максимальным и минимальным значением). В тех случаях, когда устойчивость показателя стойкости задана не коэффициентом вариации W , а размахом $R = (x^{\max} - x^{\min})$, рассеяние результатов по стойкости можно представить в виде

$$\xi = \frac{x^{\max} - x^{\min}}{\bar{x}_0} = \frac{R}{\bar{x}_0}$$

В этом случае для перехода к W можно воспользоваться соотношением

$$R/\sigma = \alpha_n, \quad (3)$$

где α_n — табличное значение из [6].

Тогда, разделив числитель и знаменатель из (3) на \bar{x}_0 , получим

$$\xi/W = \alpha_n.$$

На минимально достаточный объем выборки n существенное влияние оказывает не только разброс, но и численное значение γ (см. таблицу).

Т а б л и ц а

Минимально необходимый объем выборки n при варьировании λ , W и численного значения надежности γ

Задано		Вычисленное значение n при	
γ	W	$\lambda = 1,05$	$\lambda = 1,55$
0,90	0,40	114,0	2,1
	0,22	34,5	0,6
0,95	0,40	189,3	3,5
	0,22	57,3	0,9
0,97	0,40	245,9	4,5
	0,22	74,4	1,4

Из приведенных оценок видно, что при закрепленных значениях W и λ при снижении надежности с 0,97 до 0,90 минимально достаточный объем выборки n заметно снижается (примерно в 2,15 раза при различных значениях λ и W), т.е. заметно уменьшается потребное количество экспериментов. Соответственно экономичность экспериментальных программ по оценке стойкости режущего инструмента во многом предопределена обоснованностью выбора надежности (по численному значению γ).

Из сказанного можно сделать следующие важные для практики выводы:

для одноинструментальных наладок следует руководствоваться

меньшими значениями γ (так как отдельные выпадения по стойкости инструмента не имеют критического значения в эксплуатационных условиях);

для многоинструментальных наладок, в которых устойчивости результатов по стойкости придается даже большее значение, чем средней стойкости, следует опираться на повышение значения γ .

Таким образом, алгоритм решения поставленной задачи — повышение достоверности оценки стойкости лезвийного инструмента — сводится к следующим процедурам:

исключение (или закрепление на неизменном уровне) систематических погрешностей при испытании стойкости инструмента;

исключение (или технологически возможное уменьшение) случайных погрешностей;

использование систематически накапливаемой информации по стойкости инструмента, и устойчивости значений этого показателя при традиционных способах упрочнения, а также ориентировочных прогнозов по повышению λ при заданной надежности γ для решения вопросов об обоснованном выборе λ при проведении эксплуатационных испытаний стойкости инструмента, упрочненного по новой технологии;

использование полученных в эксперименте результатов по $\bar{\sigma}_*$ для уточнения значений W (или ξ) и λ при определении нового значения λ в условиях выполнения систематических исследовательских программ по достоверной оценке стойкости лезвийного инструмента при реализации новой технологии его термического упрочнения.

В статье рассмотрены вопросы, связанные с целевой направленностью поиска — повышением достоверности оценки стойкости лезвийного инструмента, имеющим важное значение при выполнении экспертных программ. Однако большинство предложений справедливо и при решении вопросов оценки существенности повышения долговечности в производственных условиях.

1. Квазианалоговые испытания штамповых сталей // Производство и исследование быстрорежущих и штамповых сталей /Б.Ф.Трахтенберг, И.И.Векслин, М.С.Кенис и др. М.: Металлургия, 1970. С.98-103.
2. Трахтенберг Б.Ф., Котельников Г.А., Подколзин М.И. и др. Квазианалоговый подход при исследовании твердых сплавов для инструмента горячего деформирования // Твердые сплавы и тугоплавкие металлы. М.: Металлургия, 1973. С.136-140.
3. Ларин М.Н. Вопросы рациональной эксплуатации сверл. //Спиральные сверла. М., 1966. С. 5-22.
4. Басов В.В., Берляев Б.В., Черемисин А.С. Исследование обрабатываемости автоматных сталей АС35Г2 и АС11 на Волжском автомобильном заводе //Исследование обрабатываемости жаропрочных и титановых сплавов /Куйбышев. авиац. ин-т. Куйбышев, 1976. С. 21-23.
5. Кацев П.Г. Статистические методы исследования режущего инструмента. М.: Машиностроение, 1974. 240 с.
6. Смирнов Н.В., Дунин-Барковский И.В. Курс теории вероятностей и математическая статистика в технике. М.: Наука, 1969. 512 с.

УДК 621.91.01

В.И.Петров, М.А.Никитин, А.Л.Меньшов

ТЕОРИЯ ОБРАБОТКИ МНОГОГРАННЫХ ОТВЕРСТИЙ
МЕТОДОМ ВРЕЗАНИЯ

Изложены основные положения разработанной теории обработки многогранных отверстий в нежестких конструкциях. Рассмотрены различные варианты такой обработки и показана возможность оптимизации режимов резания и геометрических и динамических параметров технологической системы.

ВАН 5-230-16902-8. Методы обработки авиаматериалов. Самара, 1991
