

Л. Д. АРСОН

**ВЕСОВОЙ РАСЧЕТ ЛИТЫХ ИЗДЕЛИЙ С УЧЕТОМ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ**

Изготовление деталей путем литья находит все большее распространение в самых разнообразных самолетных конструкциях. В том числе все шире применяется литье при конструировании крупногабаритных изделий, как например, каркасов фонарей, силовых люков, панелей, силовых шпангоутов, узлов управления и т. д.

При изготовлении таких литых изделий имеют место значительные отклонения размеров, которые в тонкостенных конструкциях приводят к большим отклонениям веса. Некоторые из этих отклонений размеров являются неизбежными, присущими литым конструкциям и должны учитываться при весовых расчетах. Другие же отклонения появляются в результате недостаточно высокой культуры технологического процесса и его исполнения и должны быть предотвращены системой контроля размеров и веса.

Методы расчета веса и допусков на вес литых изделий частично регламентируются ГОСТами и ведомственными нормативами.

ГОСТы 1855-55 и 2009-55 на литье из чугуна и стальные отливки не дают рекомендаций по определению веса, а устанавливают только допуски на вес в виде процента от веса литого изделия. На литье из цветных сплавов аналогичных ГОСТов не существует.

Ведомственные руководящие технические материалы рекомендуют производить расчет веса по номинальным размерам без учета возможного применения асимметричных допусков. Рекомендаций по установлению допусков на вес руководящие материалы не дают.

Заводы, при контроле веса литых изделий, руководствуются производственными инструкциями. Многие из таких производственных инструкций в основу кладут вес, подсчитанный по номинальным размерам чертежа, а допуск устанавливают в виде процента от веса.

Практические значения величин веса, полученные при взвешивании, однако, отличаются от рассчитанных вышеуказанным образом. Это объясняется тем, что расчет веса по номинальным размерам не учитывает асимметрии допусков и фактического смещения центров группирования размеров литых изделий. Ошибочным является и определение допуска в процентах от веса изделий вне зависимости от допусков на размеры отдельных элементов, числа этих элементов и особенностей сочетаний колеблющихся величин размеров в изделии. Назначение установленных таким образом весовых нормативов при контроле веса приводит к тому, что литые изделия подвергаются чрезвычайно трудоемкой круговой или частичной механической обработке с целью доводки по весу.

Вследствие такого несовпадения теоретических и практических значений веса ряд заводов применяет статистические методы. Существен-

ным недостатком таких методов является то, что они не дают возможности обнаружить отклонений от технологии, необоснованное утолщение элементов моделей и не стимулируют переход на другие более совершенные виды формовки и технологические процессы. Таким образом, и статистические методы установления нормативов веса и допусков на вес не могут явиться средством повышения культуры производства и снижения веса.

Такой цели может служить только теоретический расчет веса и допусков на вес, исходящий из учета колебаний размеров каждого элемента и особенностей сочетания их в изделии, основанный на теории вероятностей. Аналитические расчеты дадут возможность установить своевременно нормативы веса в самый нужный период с момента запуска нового объекта в производство и будут ориентировать при выборе классов точности литья и технологии.

Применить теорию вероятностей к расчетам допусков на вес литых изделий предложил С. А. Казеннов [3]. Однако С. А. Казеннов не предусматривает необходимости расчета также и веса на основе теории вероятностей с учетом наличия асимметрии допусков и сдвига центра группирования практических распределений размеров. Исходя из правильных предпосылок при разработке метода расчета допусков, С. А. Казеннов не учел некоторых особенностей изготовления литых изделий, того, что фактический размах рассеивания размеров меньше поля допуска на величину допуска на модель, а также наличия корреляционных связей между величинами колеблющихся размеров отдельных элементов. Поэтому методы расчета весовых допусков, предложенные С. А. Казенновым, нуждаются в уточнении.

Особенности определения веса и допусков на вес литых изделий

Колебание размеров литых изделий вызывается разнообразными причинами: отклонением размеров моделей, расталкиванием формы при выемке моделей и заливке, непостоянством зазоров в местах разъемов опок, смещением верхней и нижней половины моделей и опок в пределах зазоров между штырями и втулками, отклонениями размеров стержней и различиями их установки, а также литейными усадками.

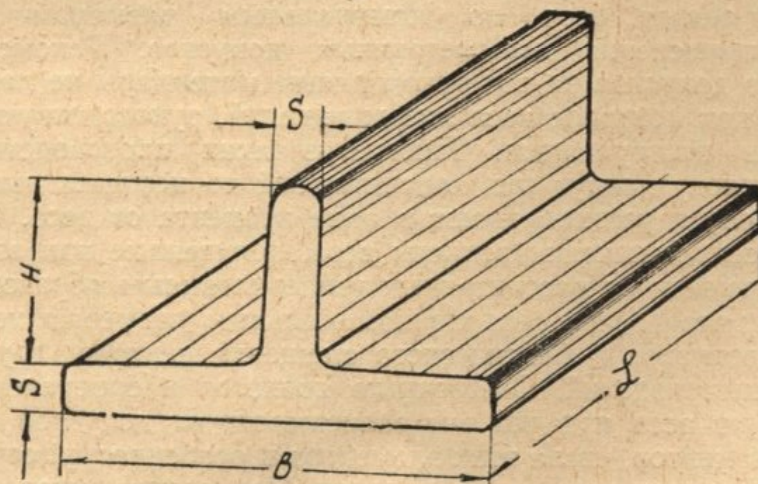


Рис. 1.

Литые изделия сложной конфигурации схематически можно расчленивать на ряд отдельных элементов. Каждый элемент (рис. 1) определяется несколькими размерами.

Вне зависимости от положения элемента при формовке в плоскости разъема опок, перпендикулярно или под углом, все размеры будут величинами колеблющимися.

Колебания отдельных размеров элемента в различной степени влияют на колебание объема и веса. Если размеры элемента (рис. 1) соизмеримы между собой, то они вызывают сравнительно одинаковое колебание веса. Когда размеры значительно отличаются по величине друг от друга, их влияние на колебание объема и веса различно. В подавляющем большинстве конструкций длина элемента (L) и ширина (B) значительно превышают толщину (S). Поэтому решающее значение имеет колебание толщины. При расчетах веса и допусков в таких случаях достаточно ограничиться учетом колебаний только толщины.

В зависимости от расположения элементов конструкций и условий технологического процесса фактические размеры могут являться величинами независимыми, а между некоторыми, как это далее будет показано, имеются корреляционные связи.

1. Членение литых изделий на элементы. Рассматривая различные по конструкции и технологическому процессу литые изделия, можно выделить некоторые типичные сочетания элементов. В зависимости от расположения элементов друг по отношению к другу своеобразно проявляется влияние колебаний размеров на колебание веса изделия. Наиболее характерными являются два расположения элементов:

- а) элементы взаимно примыкающие (рис. 2а—элементы 1 и 3 или 2 и 3);
- б) элементы взаимно противоположные (рис. 2б—элементы 1 и 2)

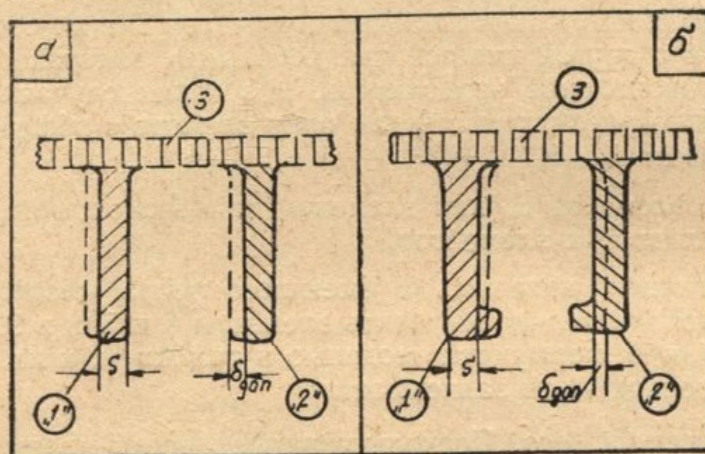


Рис. 2.

Как показали исследования, практические размеры примыкающих элементов являются величинами взаимно независимыми.

У противоположных же элементов между практическими размерами имеются корреляционные связи. Характер этих зависимостей определяется условиями формовки.

При формовке моделью (рис. 2а) расталкивание приводит к некоторому увеличению толщины противоположного элемента 2 и тогда между размерами будет существовать прямая корреляционная зависимость.

При формовке моделью и стержнем толщина элементов 1 и 2 зависит как от расталкивания формы моделью, так и от положения стержня (рис. 2б). В этом случае утолщение элемента 1 может сопровождаться уменьшением толщины элемента 2.

В представленных на рис. 3а и 3б примерах показаны некоторые характерные сочетания элементов.

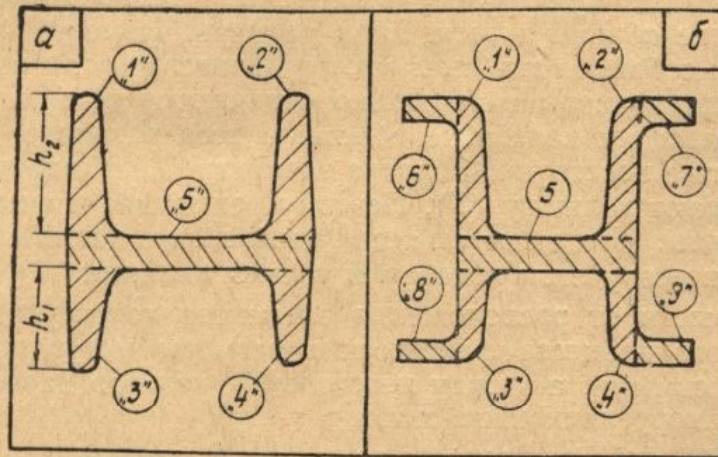


Рис. 3.

Изделие, представленное на рис. 3а, следует расчленять на элементы 1, 2, 3, 4 и 5.

При формовке моделью размеры 1 и 2 находятся соответственно в корреляционной связи. Аналогичная зависимость имеется между размерами элементов 3 и 4.

Между размерами вертикальных элементов 1 и 3, с одной стороны, а также 2 и 4 с другой имеется при небольших высотах (до 40—50 мм) прямая функциональная зависимость, и в таких случаях вертикальные элементы можно рассматривать как один элемент с общей высотой, равной сумме высот $h_1 + h_2$.

Размеры элемента 5, как элемента примыкающего, не зависят от размеров всех других элементов.

У аналогичного изделия, но имеющего ребра жесткости (рис. 3б), необходимо дополнительно выделить элементы 6 и 7, 8 и 9. Элементы 6 и 8, а также 7 и 9 формуются моделью и стержнем, и их размеры находятся в корреляционной зависимости.

2. *Определение веса.* Поскольку литые детали являются изделиями многоэлементными, то их вес следует определять, используя выражение, предложенное для весовых расчетов узлов и агрегатов.

$$G_r = G_{nr} + \sum \alpha_i F_i \delta_{доп} \gamma,$$

где G_{nr} — вес, рассчитанный по номинальным размерам;

$\alpha_i = \frac{S_{ср} - S_n}{\delta_{доп}}$ — коэффициент относительной асимметрии, характеризующий сдвиг центра группирования размеров ($S_{ср}$) по отношению к номиналу (S_n);

F_i — площадь элемента в плоскости, перпендикулярной направлению отклонений размеров;

$\delta_{доп}$ — половина поля допуска на размер;

γ — удельный вес.

В литых изделиях для исследования и расчетов удобно представить коэффициент относительной асимметрии в виде суммы составляющих коэффициентов

$$\alpha_i = \alpha_{i.c.гр} + \alpha_{i.ряда} + \alpha_{i.доп}. \quad (2)$$

Типичное для литых изделий распределение размеров показано на рис. 4,

- где $S_{ср}$ — средняя (центр группирования) распределения размеров;
 $S\delta_{ряда}$ — координата середины поля рассеивания;
 $S\delta_{доп}$ — координата середины поля допуска;
 S_n — номинальный размер;
 δ_n — нижняя часть поля допуска;
 δ_v — верхняя часть поля допуска;
 $\delta_{ряда}$ — половина величины поля рассеивания размеров;
 $\delta_{доп}$ — половина поля допуска.

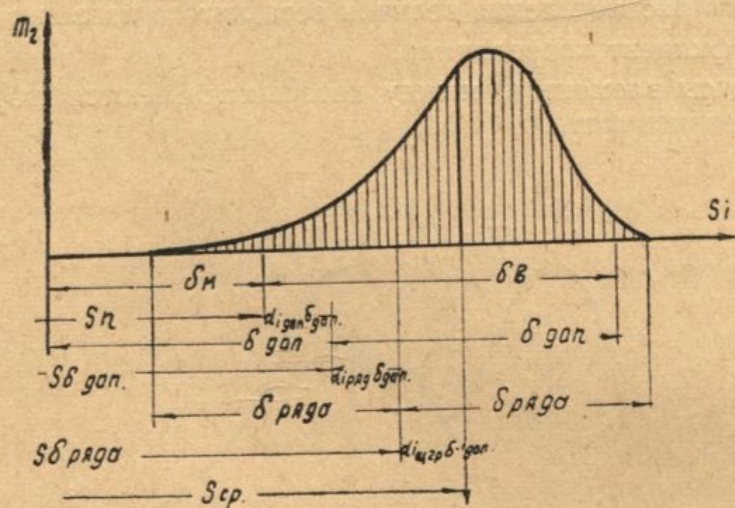


Рис. 4.

Как видно из рис. 4, центр группирования может быть смещен по отношению к середине поля рассеивания размеров, что характеризуется коэффициентом сдвига центра группирования

$$\alpha_{i.c.гр} = \frac{S_{ср} - S\delta_{ряда}}{\delta_{доп}}. \quad (3)$$

Середина поля рассеивания размеров также может быть смещена по отношению к середине поля допуска, что характеризуется коэффициентом сдвига поля рассеивания

$$\alpha_{i.ряда} = \frac{S\delta_{ряда} - S\delta_{доп}}{\delta_{доп}}. \quad (4)$$

При несимметричных допусках середина поля допуска смещается по отношению к номиналу, что характеризуется коэффициентом сдвига середины поля допуска

$$\alpha_{i.доп} = \frac{S\delta_{доп} - S_n}{\delta_{доп}}. \quad (5)$$

Подставив в формулу (1) значение коэффициента относительной асимметрии из (2) и учитывая, что все элементы имеют одинаковый удельный вес, получим выражение для определения веса

$$G_r = G_{пр} + \gamma \Sigma (\alpha_{iц \cdot гр} + \alpha_{iряда} + \alpha_{iдоп}) F_i \delta_{доп} \quad (6)$$

Для выполнения практических расчетов веса необходимо выявить величины коэффициентов $\alpha_{iц \cdot гр}$ и $\alpha_{iряда}$ на основе исследования распределений практических размеров литых изделий.

3. *Определение допусков на вес.* Расчет допусков на многоэлементные литые изделия необходимо производить, используя выражение, предложенное для весовых расчетов узлов и агрегатов:

$$\Delta G_r = \sqrt{\Sigma K_i^2 \delta_{доп}^2 F_i^2 \gamma^2 \pm 2 \Sigma R_{рп} \cdot K_{ip} K_{in} \cdot \delta_{допр} \delta_{допн} F_{ip} F_{in} \gamma_p \gamma_n}, \quad (7)$$

где K_i — коэффициент относительного рассеивания, характеризующий отличие формы распределения размеров от формы результирующего распределения величин веса литого изделия;

R — коэффициент корреляции;

p, n — индексы элементов, между которыми имеются корреляционные зависимости.

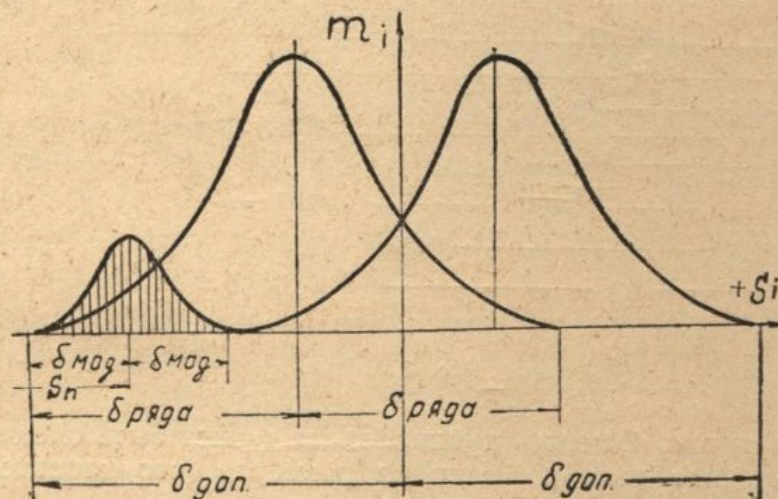


Рис. 5.

Особенностью литых изделий (рис. 5) является то обстоятельство, что вследствие наличия отклонения размеров моделей поле рассеивания литейных отклонений размеров меньше поля допуска. Поэтому расчет многоэлементных литых изделий необходимо основывать не на величине допуска, а на величине поля рассеивания — $\delta_{ряда}$. Исходя из того, что в каждом конкретном случае допуски назначаются правильно в соответствии с особенностями конструкции и технологии, необходимо принять, что допуск на размер изделия равен сумме допуска на модель ($2\delta_{мод}$) и величины поля рассеивания ($2\delta_{ряда}$):

$$2\delta_{доп} = 2\delta_{мод} + 2\delta_{ряда}, \quad (8)$$

откуда

$$\delta_{ряда} = \delta_{доп} - \delta_{мод}. \quad (9)$$

Подставив в выражение (7) вместо $\delta_{\text{доп}}$ фактическое предельное отклонение размеров из (9) и учитывая, что все элементы имеют одинаковый удельный вес, получим

$$\Delta G_r = \gamma V \sqrt{\sum K_i^2 (\delta_{\text{доп}} - \delta_{\text{мод}})^2 F_i^2 \pm 2 \sum R_{\text{кп}} K_{\text{ик}} K_{\text{ип}} (\delta_{\text{доп}} - \delta_{\text{мод}})_k (\delta_{\text{доп}} - \delta_{\text{мод}})_п F_{\text{ик}} F_{\text{ип}}}. \quad (10)$$

В случае, когда $(\delta_{\text{доп}} - \delta_{\text{мод}})$ есть величина постоянная для всех элементов, выражение (10) упрощается:

$$\Delta G_r = (\delta_{\text{доп}} - \delta_{\text{мод}}) \gamma V \sqrt{\sum K_i^2 F_i^2 \pm 2 \sum R_{\text{кп}} K_{\text{ик}} K_{\text{ип}} F_{\text{ик}} F_{\text{ип}}}, \quad (11)$$

где $\delta_{\text{доп}}$ берется из чертежа, а $\delta_{\text{мод}}$ — из соответствующих технических условий на изготовление моделей.

4. *Учет неравномерности толщины по длине элемента.* В крупногабаритных деталях при расчете допусков необходимо также учесть наличие неравномерности толщин по длине элементов. Проведенные обмеры значительного числа литых изделий показывают, что, начиная с длины 300—400 мм, уже сказывается разностенность, которая уменьшает фактическое поле рассеивания объемов элементов. В расчетах допусков неравномерность толщины следует учесть путем введения коэффициента разностенности β_i в виде множителя к величине поля рассеивания.

Тогда выражение (10) для определения допуска на вес переписывается следующим образом:

$$\Delta G_r = \gamma V \sqrt{\sum K_i^2 (\delta_{\text{доп}} - \delta_{\text{мод}})^2 F_i^2 \beta_i^2 \pm \pm 2 \sum R_{\text{кп}} K_{\text{ик}} K_{\text{ип}} (\delta_{\text{доп}} - \delta_{\text{мод}})_k (\delta_{\text{доп}} - \delta_{\text{мод}})_п \beta_k \beta_p F_{\text{ик}} F_{\text{ип}}}. \quad (12)$$

В частном случае, когда $(\delta_{\text{доп}} - \delta_{\text{мод}})$ является величиной постоянной, допуск на вес определится выражением

$$\Delta G_r = (\delta_{\text{доп}} - \delta_{\text{мод}}) \gamma V \sqrt{K_i^2 F_i^2 \beta_i^2 \pm 2 \sum R_{\text{кп}} K_{\text{ик}} K_{\text{ип}} F_{\text{ик}} F_{\text{ип}} \beta_k \beta_p}. \quad (13)$$

Таким образом, при расчетах допусков на вес необходимо на основе анализа практических распределений размеров литых изделий выявить коэффициенты относительного рассеивания K_i , корреляции R и неравномерности толщины по длине β_i .

Анализ практических распределений размеров

С целью выявления коэффициентов, используемых при расчетах веса и допусков на вес, проведен анализ практических распределений размеров, характерных для различных технологических процессов.

Для литья, полученного путем формовки в земляные формы, проведены специальные обмеры деталей среднего и большого габаритов. Отдельно рассмотрены особенности распределения размеров при других технологических процессах. Исследование литья в земляные формы произведено по материалам специальных замеров деталей литейных цехов пяти заводов. На каждом рассматриваемом изделии намечались в характерных местах определенные точки, в которых производились замеры толщин.

Полученные результаты замеров обрабатывались и представлялись в виде рядов распределений и соответствующих им графиков, на основании которых определялись необходимые параметры. Характер и параметры распределения существенно зависят от числа моделей, которыми про-

изводится формовка, поэтому при расчетах коэффициентов анализировались распределения размеров изделий, формуемых одной моделью, а отклонения размеров моделей рассматривались самостоятельно.

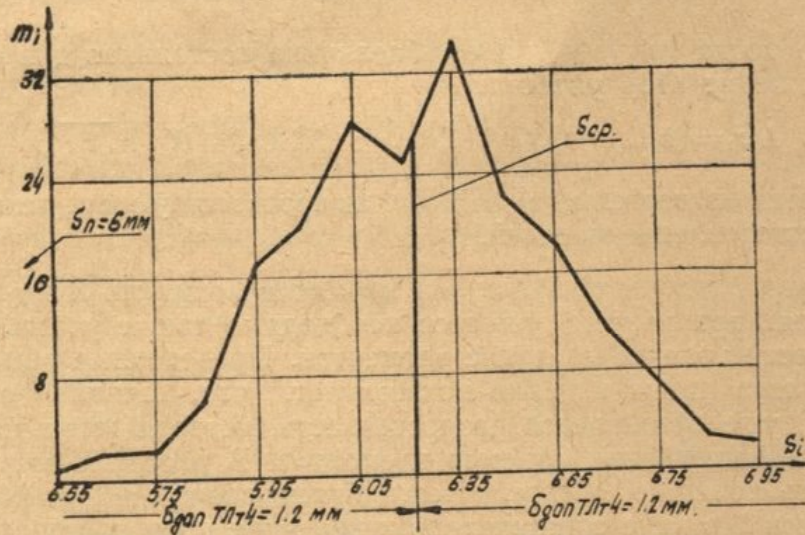


Рис. 6.

1. Внешние формы практических распределений размеров. Для анализа распределений размеров литых изделий, отливаемых в земляные формы, были рассмотрены колебания толщин различных изделий из алюминиевого и магниевого сплавов. Исходя из способа образования элементов при формовке, рассмотрены некоторые характерные для самолетных

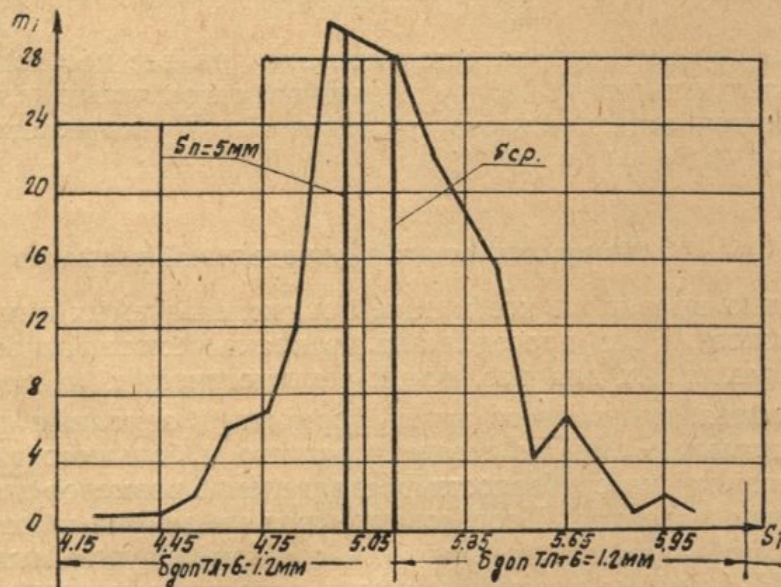


Рис. 7.

конструкций распределения размеров элементов: формуемых моделью в плоскости, перпендикулярной разъему форм, формуемых моделью в плоскости, разъема форм и элементов, формообразование которых производится моделью и стержнем.

На графиках 6, 7 и 8 представлены в качестве примера практические распределения толщин элементов, формируемых моделью в плоскости, перпендикулярной разъему форм (рис. 6), формируемых моделью и расположенных в плоскости разъема форм (рис. 7) и формируемых моделью и стержнем (рис. 8). У всех таких распределений имеет место накопление частот вблизи середины поля рассеивания; некоторые распределения довольно близки по форме к нормальной кривой. Центры группирования располагаются по правую и левую стороны середины поля рассеивания.

2. *Сдвиг центра группирования по отношению к середине поля рассеивания.* Сдвиг центра группирования характеризуется коэффициентом относительного сдвига центра группирования $\alpha_{ц. гр}$ (3). Поскольку литые изделия являются изделиями многоэлементными, то нельзя ожидать, что у всех элементов будет одинакова величина асимметрии распределений разме-

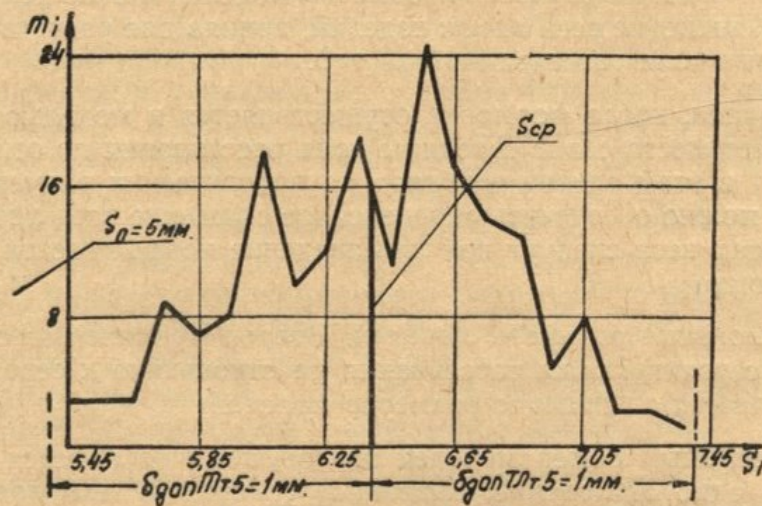


Рис. 8.

ров. Асимметрия распределений и коэффициент сдвига центра группирования, есть величина случайная. Вследствие этого при определении веса многоэлементных литых изделий следует в основу положить среднее значение коэффициента относительного сдвига центра группирования $\alpha_{ц. гр. ср}$. Расчетом получено среднее значение коэффициента относительного сдвига центра группирования $\alpha_{ц. гр. ср} = 0,011$. При определении веса $\alpha_{ц. гр. ср}$ может быть приближенно принято равным нулю.

3. *Сдвиг середины поля рассеивания по отношению к середине поля допуска.* Как следует из рассмотренных распределений, центр группирования ($S_{гр}$) практически всегда смещен по отношению к номинальным размерам в сторону больших значений. Это приводит к значительному повышению веса, достигающему у ряда изделий 10—15%. Одними из причин этого являются особенности технологии.

Для элементов, формовка которых осуществляется моделью, вследствие расталкивания формы, изменения размеров происходят преимущественно в плюсовую сторону от размеров моделей. Если модель сделана по номинальным размерам изделия, то поле рассеивания размеров расположится вправо от номинального размера (рис. 5). В результате такого положения имеет место систематический сдвиг середины поля рассеивания по отношению к номиналу и при несимметричных допусках — по отношению к середине поля допуска. Этот сдвиг характеризуется коэффициентом

сдвига поля рассеивания $\alpha_{i \text{ ряда}}$ (4). В случаях, когда сумма величин поля рассеивания размеров и поля допуска на изготовление моделей равна полю допуска на литье, тогда в пределе сдвиг поля рассеивания будет равен половине поля допуска и коэффициент сдвига поля рассеивания $\alpha_{i \text{ ряда}} = 1$.

Это свидетельствует о том, что во всех тех случаях, когда модели изготавливаются по номинальным размерам, имеет место перетяжеление литых изделий. Путем изготовления моделей с отклонением в минусовую сторону от номинала можно получить определенное снижение веса литых изделий. При правильно выбранных в соответствии с особенностями технологии размеров моделей следует принять значение коэффициента сдвига поля рассеивания $\alpha_{i \text{ ряда}} = 0$.

Аналогичное положение имеет место у распределений размеров элементов, формуемых моделью в плоскости разъема форм. И здесь правильным подбором технологических размеров моделей можно получить соответствующее снижение веса литых изделий, приняв для расчета веса коэффициент сдвига поля рассеивания $\alpha_{i \text{ ряда}} = 0$.

В случаях, когда формовка осуществляется и моделью и стержнем, также имеет место сдвиг середины поля рассеивания по отношению к номиналу. И в этом случае подбором технологических размеров моделей и стержней можно обеспечить определенное снижение веса литых изделий, а при расчетах веса следует принять значение коэффициента сдвига поля рассеивания $\alpha_{i \text{ ряда}} = 0$.

4. Отклонение размеров моделей. Второй причиной, вызывающей отклонение середины поля рассеивания по отношению к середине поля допуска, является отклонение размеров моделей.

Проведенный обмер моделей показывает, что имеется два вида отклонений: одно отклонение, вызванное условиями технологии изготовления моделей, и второе — преднамеренное, когда заранее модели выполняются по размерам с отклонениями от номинала. Технологический процесс изготовления как деревянных, так и металлических моделей обеспечивает довольно высокую точность, и практически колебания размеров моделей могут укладываться в допуски, установленные техническими условиями.

Учитывая технологические особенности процессов формовки и литья, ведомственные нормативы рекомендуют выполнять модели с минусовым отклонением от номинального размера. Но не все заводы придерживаются таких рекомендаций. Проведенный обмер моделей показывает, что на многих элементах осуществлено не минусовое, а преднамеренное плюсовое увеличение размеров моделей. Это увеличение толщин в ряде случаев доходит до 1—1,5 мм, что в самолетном тонкостенном литье приводит к ощутимому увеличению веса. Такое преднамеренное увеличение размеров моделей не может быть признано обоснованным. Поэтому при расчетах веса следует учитывать только те неизбежные колебания моделей, которые определяются возможной точностью их изготовления по техническим условиям. Предельное смещение поля рассеивания (4) вследствие наличия колебания размеров моделей определится величиной, равной половине поля допуска на модель — $\delta_{\text{мод}}$ и коэффициент сдвига $\alpha_{i \text{ ряда}}$ определится выражением

$$\alpha_{i \text{ ряда}} = \pm \frac{\delta_{\text{мод}}}{\delta_{\text{доп}}}$$

У многоэлементных литых изделий нельзя ожидать, чтобы одновременно все элементы моделей были изготовлены на верхнем или нижнем пределах поля допуска. Учитывая равновероятность изготовления моделей как с плюсовым, так и с минусовым значением, следует коэффициент сдвига поля рассеивания принять равным нулю.

Стремясь устранить одну из важнейших причин, ведущих к увеличению веса, ряд заводов, как уже сказано, изготавливает модели с минусовым отклонением размеров от номинала, обеспечивая симметричное колебание размеров вокруг него. Вследствие сохранения некоторых дефектов моделей и ряда технологических причин весьма часто таким способом не удается добиться получения литья необходимой точности. В таких случаях весьма целесообразно осуществить доводку моделей, ориентируясь на фактические размеры литых изделий.

В этом отношении весьма показателен опыт одного из самолетостроительных заводов, где при внедрении нового объекта были установлены весьма жесткие допуски на вес. Решающее влияние на то, что контролируемые изделия не укладывались в нормативы веса, оказывало изготовление моделей с плюсовым припуском и расположение поля рассеивания размеров в плюсовой стороне от номинала. Это вынудило завод на первых порах осуществить круговую механическую обработку большинства литых изделий, а затем заняться тщательной отработкой моделей. Отработка моделей свелась к проверке всех размеров, снятию излишних припусков и изготовлению размеров элементов с технологическими минусовыми размерами по отношению к номиналу. Такая доводка моделей в соответствии с требованиями весового контроля дала возможность резко сократить трудоемкость механической обработки и обеспечить выполнение изделий в соответствии с весовыми нормативами.

Таким образом, опыт заводов показывает необходимость и возможность изготовления моделей, обеспечивающих совпадение центра группирования размеров с серединой поля допусков. И тогда следует принимать $\alpha_{\text{ряда}} = 0$.

В этом случае вес литого изделия определится выражением

$$G_r = G_{\text{нр}} + 0,5\gamma \Sigma(\delta_v - \delta_n)F_i, \quad (14)$$

где

$$\alpha_{\text{идоп}} = 0,5 \frac{\delta_v - \delta_n}{\delta_{\text{доп}}}, \quad (15)$$

а $\alpha_{\text{ицгр}} = 0$; $\alpha_{\text{ряда}} = 0$.

5. *Рассеивание размеров по полю допуска.* Для выяснения того, в каком соотношении находятся поле рассеивания размеров и поле допуска, на всех анализируемых распределениях размеров нанесены величины поля допуска. Проведенный анализ показывает, что при различных видах формообразования элементов соотношение между полем допуска и полем рассеивания различно. При формообразовании моделью элементов, расположенных перпендикулярно линии разъема форм, предельные отклонения укладываются в допуски 4-го и 5-го классов точности. При формообразовании моделью элементов, расположенных в плоскости, параллельной линии разъема, отклонение укладывается в допуски 5 и 6 классов точности.

Аналогичное положение у элементов, формообразование которых осуществляется моделью и стержнем. Здесь также отклонения находятся в пределах 5-го и 6-го классов точности.

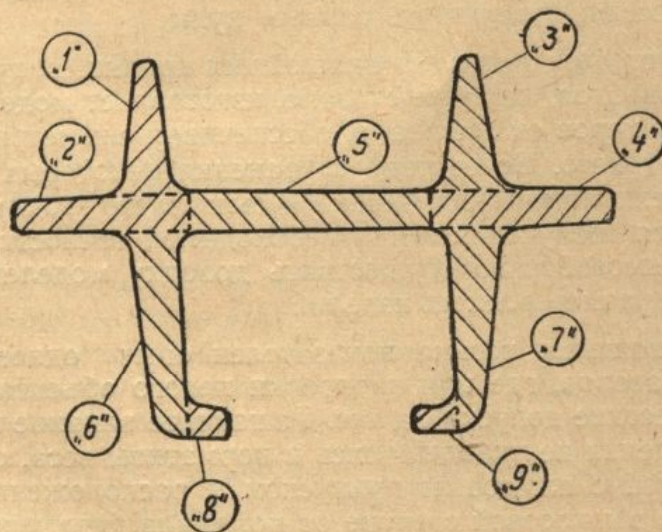


Рис. 9.

Отсюда следует необходимость дифференцирования постановки допусков на отдельные элементы в зависимости от условий формообразования и учета этого обстоятельства при расчете допусков на вес.

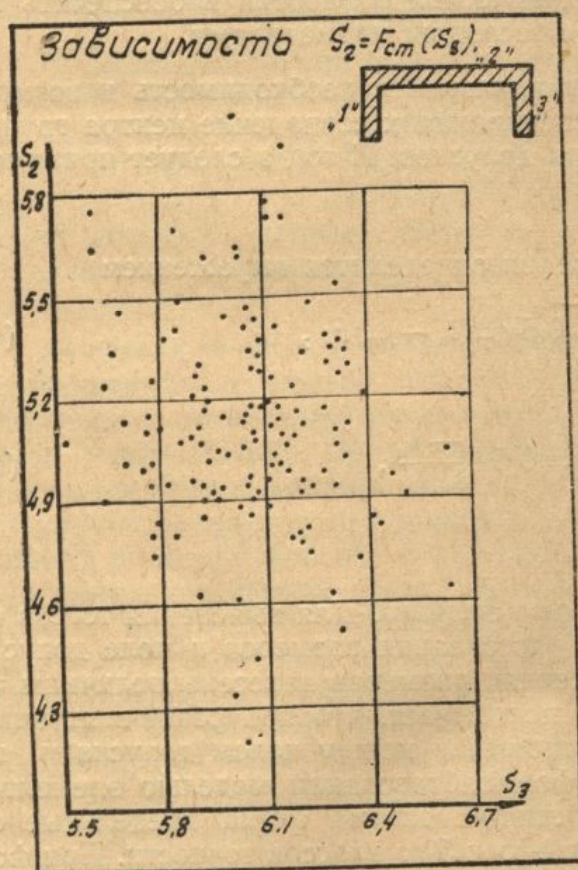


Рис. 10.

6. Корреляционные зависимости. Как ранее отмечалось, в литых изделиях вследствие особенности технологического процесса между величинами размеров отдельных элементов имеются корреляционные зависимости. Характер корреляции, знак и величина коэффициента корреляции зависят от взаимного расположения элементов и способа формовки (рис. 9). С целью выявления характера и параметров корреляционных зависимостей у каждой пары исследуемых элементов производились одновременные замеры толщин. По данным указанных замеров построены корреляционные графики, где по осям X и Y отложены толщины соответствующих элементов. На тех же графиках в необходимых случаях построены прямые регрессии и определены величины коэффициентов корреляции.

На рис. 10 и 11 представлены типичные стохастические зависимости $S_x = F_{cm}(S_y)$ между величинами размеров примыкающих элементов типа

1 и 2, 1 и 5 (рис. 9), формообразование которых производится только моделью, и прижимающих элементов типа 5 и 6, 5 и 7, формообразование которых производится моделью и стержнем. Расчет показывает, что между размерами таких элементов корреляционные зависимости практически отсутствуют, коэффициент корреляции близок к нулю и при расчетах допусков на вес можно пренебречь членом, учитывающим корреляцию.

На рис. 12 представлена типичная корреляционная зависимость между величинами размеров взаимно противоположных элементов типа 1 и 3 (рис. 9), формовка которых производится только моделью.

Построенные прямые регрессии показывают наличие прямой корреляционной зависимости. Проведенные расчеты для различных изделий показывают, что величина коэффициентов корреляции находится в пределах $R = 0,68—0,75$ и при практи-

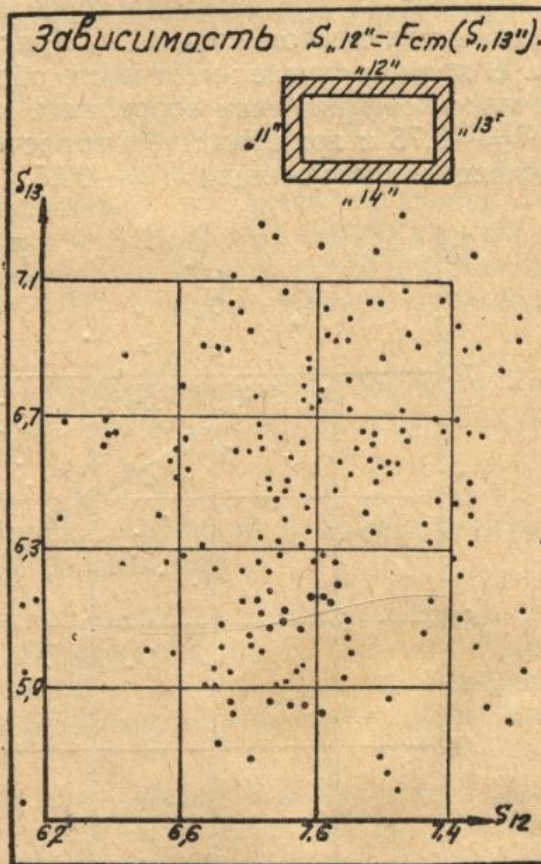


Рис. 11.

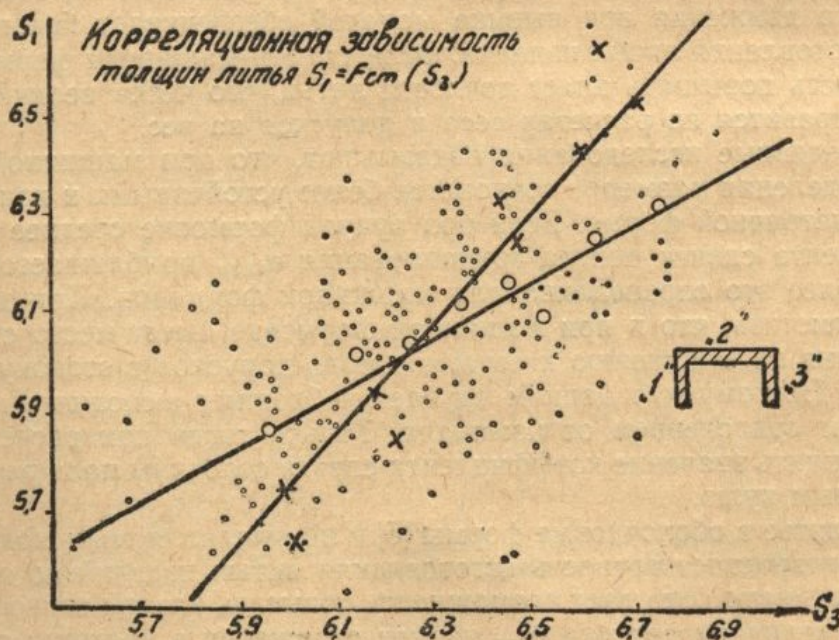


Рис. 12.

ческих расчетах допусков на вес для противоположных элементов, формованных моделью, следует принять коэффициент корреляции $R = 0,75$.

На рис. 13 представлена корреляционная зависимость для противоположных элементов типа 6 и 7 (рис. 9), формируемых моделью и стержнем. В данном случае имеет место обратная корреляционная зависимость. Значение коэффициента корреляции колеблется в пределах от $R = -0,65$ до $R = -0,75$ и при практических расчетах допусков на все следует принять коэффициент корреляции $R = -0,65$.

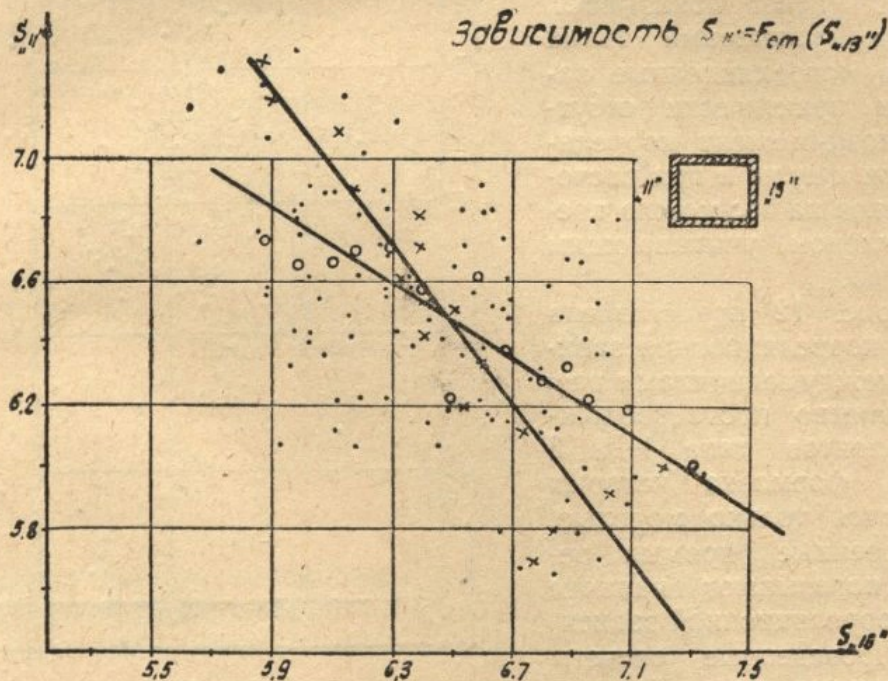


Рис. 13.

7. Особенности машинной формовки и литья в оболочковые формы. Машинная формовка за счет равномерности уплотнения форм и поступательного движения при выемке моделей обеспечивает большую точность изготовления литых изделий. Этим самым машинная формовка дает возможность повышать класс точности литья, что через величину допуска $\delta_{доп}$ отразится на расчетах веса и допусков на вес.

Проведенные исследования показывают, что при машинной формовке распределения размеров становятся более устойчивыми и приближаются к симметричной форме. Если при ручной формовке среднее значение коэффициента сдвига центра группирования $\alpha_{iцгр}$ приближается к нулю, то тем более это справедливо для машинной формовки. При этом необходимо отметить, что и при машинной формовке имеет место сдвиг поля рассеивания по отношению к середине поля допусков в сторону больших значений. Поэтому и в данном случае необходимо выполнять модели с минусовым отклонением от номинала. Только тогда при расчетах веса можно принять значение коэффициента сдвига середины поля рассеивания $\alpha_{iрля}$ равным нулю.

При литье в оболочковые формы [5] и по выплавляемым моделям значительно возрастает точность изготовления литых изделий по сравнению с литьем в землю. Это дает возможность повысить классы точности литья, что через величину допуска $\delta_{доп}$ найдет отражения в расчетах веса и допусков. Проведенные исследования такого литья показывают, что распределения размеров в таких случаях обладают большей стабильностью и по форме своей приближаются к кривой закона нормального распределения. При этом все же наблюдается некоторая асимметрия распределений размеров по отношению к номиналу; по величине эта асимметрия

невелика, а по знаку переменна. Поэтому в основу расчета веса такого многоэлементного изделия следует положить среднее значение коэффициента относительной асимметрии α_i равным нулю.

8. Неравномерность толщины по длине элемента. Исследования практических распределений размеров показывают наличие неравномерности толщины главным образом при литье в землю и ручной формовке. Такая неравномерность проявляется индивидуально и зависит от уровня технологического процесса. Для элементов длиной 300—600 мм значение коэффициента разностенности β_i , являющегося сомножителем при величине допуска, можно принять равным $0,95 \div 0,9$, а для элементов, превышающих 600 мм — $0,85 \div 0,8$.

При машинной формовке и других технологических процессах, дающих большую точность литья, нет необходимости принимать во внимание неравномерность толщины.

Внешние формы результирующих распределений и коэффициенты относительного рассеивания

Для расчетов веса и допусков на вес необходимо также выявить формы и параметры результирующих распределений литых изделий. Такими распределениями являются распределения величины веса, ибо колебание веса является результатом колебаний размеров отдельных элементов и особенностей их сочетаний.

Для определения внешних форм распределений величин веса литых изделий обработан статистический материал, полученный при весовом контроле на заводах. По данным взвешиваний определялись частоты повторяющихся величин веса и строились графики их распределений. На

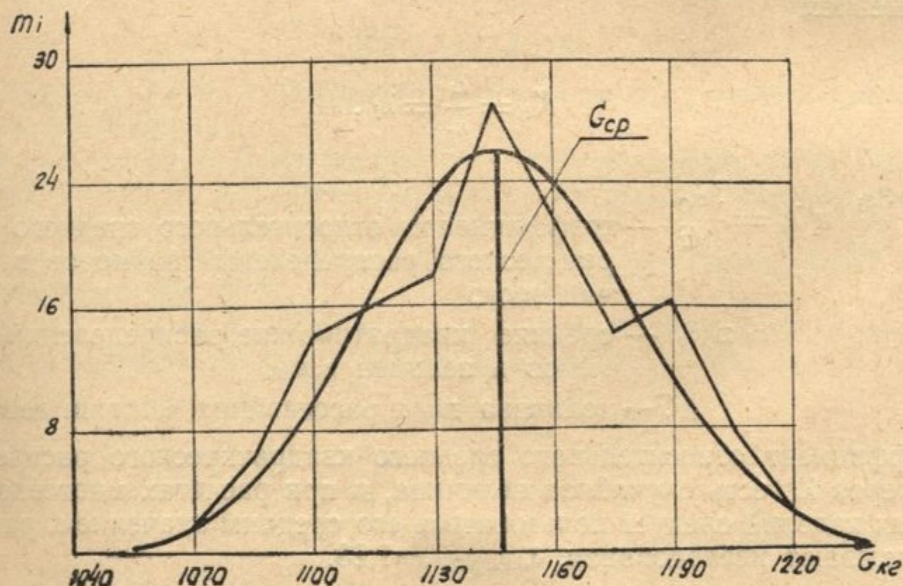


Рис. 14.

рис. 14 и 15 представлены типичные распределения величин веса для многоэлементных литых изделий. Распределения, как видно из графиков, приближаются по своей внешней форме к теоретической кривой закона

нормального распределения. Значения критерия согласия, определенные по методу акад. А. Н. Колмогорова, близки единице, что подтверждает наличие сходимости.

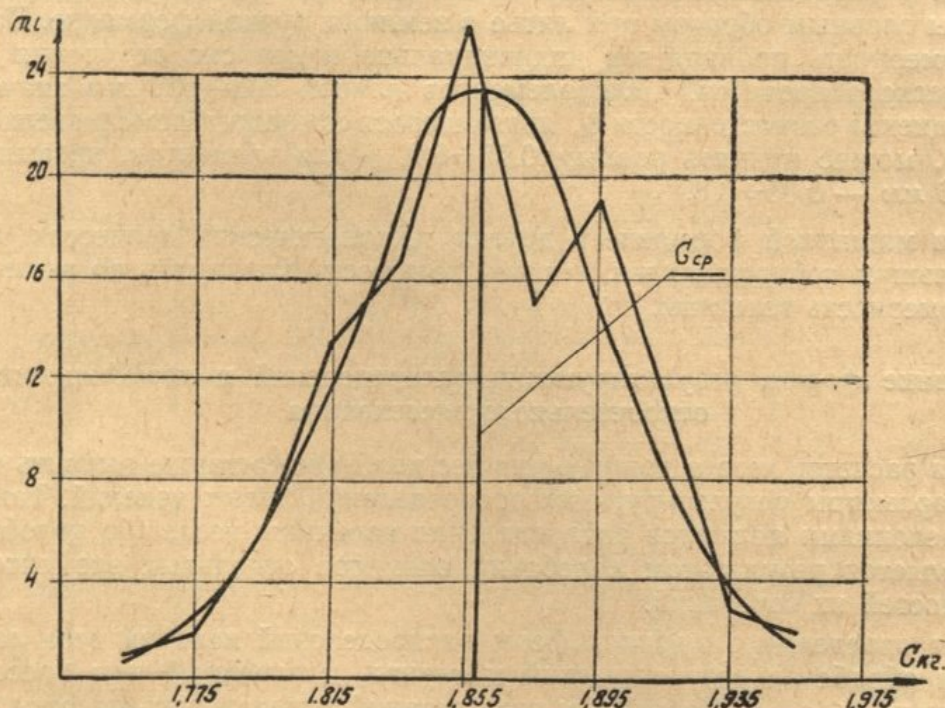


Рис. 15.

Коэффициент относительного рассеивания K_i , характеризующий отличие внешних форм распределений размеров и величин веса, определяется выражением

$$K_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_r} = \lambda_i, \quad (16)$$

где $\lambda_i = \frac{3\sigma_i}{\delta_{\text{доп}}}$ и $\lambda_r = \frac{3\sigma_G}{\Delta G}$ — коэффициенты относительного среднего квадратического распределений размеров и величин веса;

σ_i и σ_r — средние квадратические распределений размеров и величин веса;

ΔG — половина поля рассеивания величин веса.

Коэффициент относительного среднего квадратического распределения размеров λ_i есть случайная величина, и при расчетах многоэлементных литых изделий следует пользоваться его средним значением, равным, как показывают исследования, $\lambda_{i, \text{п.гр. ср.}} = 1,23$.

Для вышеуказанных форм распределений величин веса коэффициент относительного среднего квадратического $\lambda_r = 1$. Тогда $K_i = 1$.

При расчетах допусков на вес многоэлементных литых изделий следует принимать следующие значения коэффициентов относительного рассеивания K_i :

Таблица 1

Тип технологического процесса	K_1
Ручная формовка в земляные формы	1,23
Машинная формовка	1,1
Литье в оболочковые формы и по выплавляемым моделям . . .	1,1

С целью сравнения теоретических значений веса и допусков на вес с данными взвешиваний были проведены соответствующие расчеты для литых изделий, отформованных в землю. Расчеты показали достаточную точность полученных результатов при условии выполнения моделей с учетом технологических особенностей рассеивания размеров.

ВЫВОДЫ

1. Расчеты веса и весовых допусков литых изделий необходимо вести, основываясь на теории вероятностей, с учетом сдвига центра группирования размеров по отношению к номиналу и взаимовлияния колеблющихся величин размеров отдельных элементов.

2. При тщательном изготовлении моделей, исходя из характера рассеивания размеров, специфичного для литых изделий, обеспечивается существенное снижение веса самолетных конструкций.

3. Внедрение при весовом контроле нормативов веса, установленных предлагаемым образом, будет способствовать снижению веса и сокращению трудоемкой механической обработки.

4. Предложенные методы весовых расчетов дают возможность осуществить взаимную увязку допусков на размеры и вес.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бородачев Н. А. Обоснование методики расчета допусков и кинематических цепей. АН СССР, 1943.
2. Бородачев Н. А. Анализ качества и точности производства. МАШГИЗ, 1946.
3. Казеннов С. А. Системы допусков на вес отливок. «Литейное производство», 1951, № 12.
4. Поплавский И. А., Блистанов А. А. К пересмотру ГОСТ 1855—45. «Стандартизация», 1954, № 3.
5. Спекторова С. И., Киреев С. А., Литинский А. М. Основные параметры литья в оболочковые формы. «Литейное производство», 1954, № 6.