

УДК 621.771.01

Касьянюк С. В.
Саплин С. Ю.
Чемерис С. В.**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
КАЧЕСТВА ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ВОЛОЧЕНИЯ
МНОГОСЛОЙНЫХ ЗАГОТОВОК**

Повышение требований к качеству готовой металлопродукции, а также к надежности и экономичности работы механического оборудования волочильных станков делает необходимым, наряду с изучением детерминированных оценок энергосиловых параметров, и изучение основных статистических закономерностей механизма формирования рабочих нагрузок, а также механизма формирования механических и геометрических характеристик готовой металлопродукции. Вместе с тем, проведение соответствующих экспериментальных исследований непосредственно в промышленных условиях является весьма трудоемким, ограниченным по объему предоставляемой информации, а на стадии проектирования нового оборудования и технологических режимов его работы – является невозможным. Отмеченное, наряду с широким спектром возможностей современных вычислительных средств, определяет целесообразность более широкого применения методов статистического (имитационного) моделирования на основе общей стратегии метода Монте-Карло [1, 2].

В основу алгоритма рассматриваемой имитационной модели [3] положены расчетные зависимости для определения энергосиловых параметров процесса волочения, рассмотренные в работе [4].

Кроме того, для определения конечного диаметра обрабатываемой композиции с учетом упругой деформации рабочего инструмента была решена упругопластическая система «обрабатываемая заготовка – волока». При этом волока рассматривалась как цилиндр, нагруженный внутренним давлением. Исходя из этого, деформация, т. е. радиальное перемещение у внутренней поверхности, определялась по формуле Ламе [5]:

$$\Delta R = \frac{R_e}{E} \left(\frac{1+k^2}{1-k^2} + \mu \right) p, \quad (1)$$

где E , μ – модуль упругости и коэффициент Пуассона материала волоки;
 k – вспомогательный коэффициент, определяемый как:

$$k = R_e / R_n, \quad (2)$$

где R_e и R_n – соответственно, внутренний и наружный радиусы волоки в сечении на выходе из очага деформации, при этом $R_e = d_K / 2$;

p – величина внутреннего давления, равная величине нормальных контактных напряжений p_{X2i} в сечении на выходе из очага деформации.

Исходные характеристики процесса в имитационной математической модели задавались в виде номинальных, т. е. средних выборочных значений, а также в виде возможных их отклонений, характеризующихся соответствующими значениями коэффициентов вариации. При этом законы распределения всех исходных параметров были приняты нормальными, а их номинальные значения и коэффициенты вариации – на основе обобщения известных данных [1].

Непосредственно в процессе имитационного моделирования псевдослучайные равномерно распределенные числа X в диапазоне от 0 до 1 получали при помощи машинного

генератора псевдослучайных равномерно распределенных чисел RND, а нормально распределенные числа с математическим ожиданием равным нулю и среднеквадратическим отклонением равным 1 вычисляли на основе следующих зависимостей [6]:

$$\beta = \begin{cases} \left(3 - \sqrt{9 - 12\pi\mu^2}\right) / \mu\sqrt{\pi} & \text{при } \mu \leq 0,487; \\ \frac{|\mu|}{\mu} (2.25867 + 57.0256 (|\mu| - 0.487)) & \text{при } \mu > 0,487, \end{cases} \quad (3)$$

где

$$\begin{aligned} \mu &= X - 0,5; \\ X &= RND(X_{(i-1)}). \end{aligned} \quad (4)$$

Далее, нормально распределенные значения исходных параметров Y с заданными средними выборочными значениями \tilde{Y} и коэффициентами вариации v_y получали по формуле [6]:

$$Y = \tilde{Y}(1 + \beta v_y). \quad (5)$$

Исходя из логики реализации процесса, в качестве стохастически изменяемых, т. е. варьируемых параметров были приняты:

- d_{0j} – исходные диаметры составляющих обрабатываемой композиции;
- f_0, f_1 – интегральные показатели условий контактного трения в очаге деформации;
- σ_{T0j} – значение предела текучести данной составляющей;
- T_0 – величина заднего натяжения.

Качество работы генератора псевдослучайных нормально распределенных чисел было оценено для 10...1000 розыгрышей и четырех варьируемых параметров. При этом определялась величина асимметрии A , эксцесса E и среднего квадратического отклонения σ_X для каждого из параметров. Анализ показал, что необходимым и достаточным является количество розыгрышей 200...300, при этом, их уменьшение приводит к снижению точности генерирования, а увеличение – к непроизводительному росту затрат машинного времени ЭВМ, что особенно важно при использовании для моделирования вычислительных машин с относительно небольшим быстродействием.

Кроме того, была проведена проверка закона распределения исходных параметров. Анализ результатов моделирования показал, что требуемый нормальный закон распределения может быть обеспечен при количестве розыгрышей 200 и более.

Анализ точности моделирования результирующих параметров был проведен на основе оценки относительной погрешности результатов $\delta = (v_{y500} - v_{yi}) / v_{y500}$. При этом анализ показал, что при количестве розыгрышей более 200 дальнейшего существенного изменения результатов моделирования не происходит, поэтому с точки зрения достаточной точности и рациональных затрат машинного времени за основу при осуществлении моделирования было принято количество розыгрышей равным 200.

На основе рассмотренной имитационной математической модели был осуществлен ряд численных реализаций с целью определения влияния основных исходных показателей на разброс энергосиловых параметров и точность геометрических характеристик готовых изделий.

Применительно к процессу волочения биметаллической композиции «сталь 08кп – латунь Л63» был проведен анализ влияния вариации величины исходного диаметра d_0 , предела текучести σ_{T0} , заднего натяжения T_0 и коэффициента трения f на результирующие характеристики процесса. Номинальные значения, а также коэффициенты вариации исходных технологических параметров были приняты следующими: $d_{01} = 5$ мм; $d_{02} = 6$ мм; $v_d = 1$ %; $f_0 = f_1 = 0,08$; $v_f = 5$ %; $\sigma_{T01} = 240$ Н/мм²; $\sigma_{T02} = 76$ Н/мм²; $v_{\sigma} = 3$ %; $T_0 = 500$ Н; $v_T = 3$ %.

Графическая интерпретация полученных результатов представлена на рис. 1–3. Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о том, что в условиях волочения полиметаллических композиций вариация исходных параметров оказывает наибольшее влияние на изменение величины межслойных сдвиговых напряжений τ_{12} , что существенно влияет на целостность обрабатываемой композиции, а также на величину переднего натяжения (см. рис. 1).

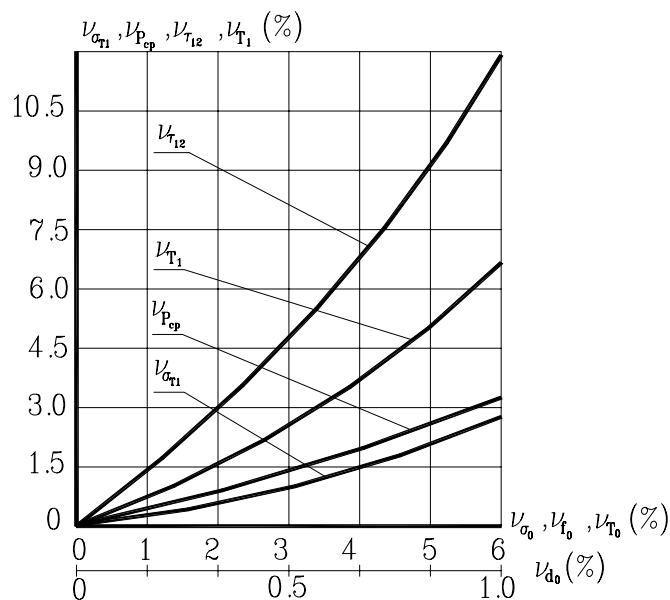


Рис. 1. Зависимость коэффициентов вариации результирующих характеристик процесса волочения биметаллической композиции «Сталь 08кп–Латунь Л63» от вариации исходных параметров

Анализ зависимостей представленных на рис. 2–3 позволяет сделать следующие выводы:

- на величину коэффициента вариации механических свойств обработанной композиции $K_{\nu_{\sigma_1}}$ наибольшее влияние оказывает величина коэффициента вариации механических свойств исходной заготовки $K_{\nu_{\sigma_0}}$, коэффициент вариации исходного диаметра $K_{\nu_{d_0}}$ также оказывает некоторое влияние на разброс механических свойств обработанных композиций, что обуславливается вариацией степени обжатия (см. рис. 2, а);

- на величину коэффициента вариации переднего натяжения $K_{\nu_{T_1}}$ существенное влияние оказывают коэффициенты вариации исходного диаметра $K_{\nu_{d_0}}$, коэффициента трения K_{ν_f} и механических свойств заготовки $K_{\nu_{\sigma_{T0}}}$ (см. рис. 2, б); на величину коэффициента вариации усредненного значения нормальных контактных напряжений $K_{\nu_{p_{cp}}}$, наиболее существенное влияние оказывает величина коэффициента вариации исходных механических свойств (см. рис. 3, а);

- на величину коэффициента вариации максимальной величины межслойных сдвиговых напряжений $K_{\nu_{\tau_{12}}}$ значительное влияние оказывает вариация величины коэффициента трения в очаге деформации K_{ν_f} , что обусловлено изменением течения металла в наружной составляющей, кроме того, на величину $K_{\nu_{\tau_{12}}}$ также существенное влияние оказывают коэффициенты вариации механических и геометрических характеристик исходных заготовок (см. рис. 3, б).

На рис. 4 представлены расчетные гистограммы распределений исходных и результирующих параметров процесса волочения биметаллических композиций.

Касаясь качественной оценки влияния вариаций исходных параметров на механические свойства готовых изделий, а также на энергосиловые параметры процесса волочения следует отметить, что изменение коэффициентов вариации всех исходных величин, за исключением заднего натяжения, оказывает существенное влияние на вариацию тех или иных характеристик процесса.

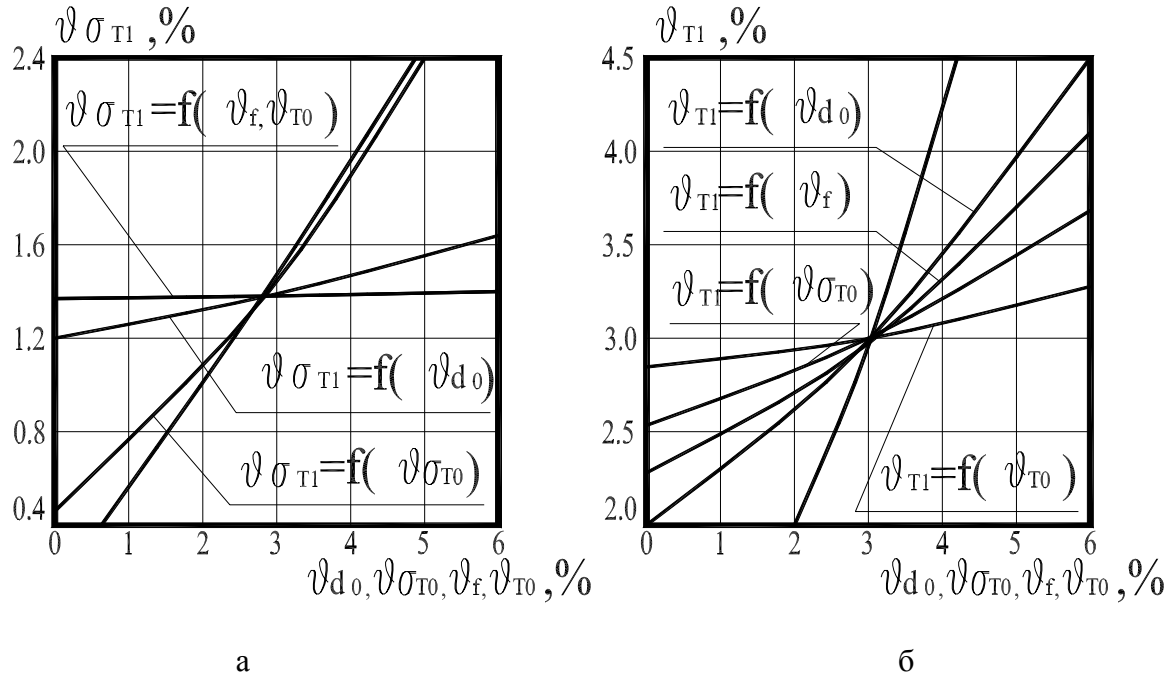


Рис. 2. Зависимость коэффициентов вариации предела текучести (а) и силы волочения (б) при реализации процесса волочения биметаллической композиции «Сталь 08кп – Латунь Л63» от вариации исходных параметров

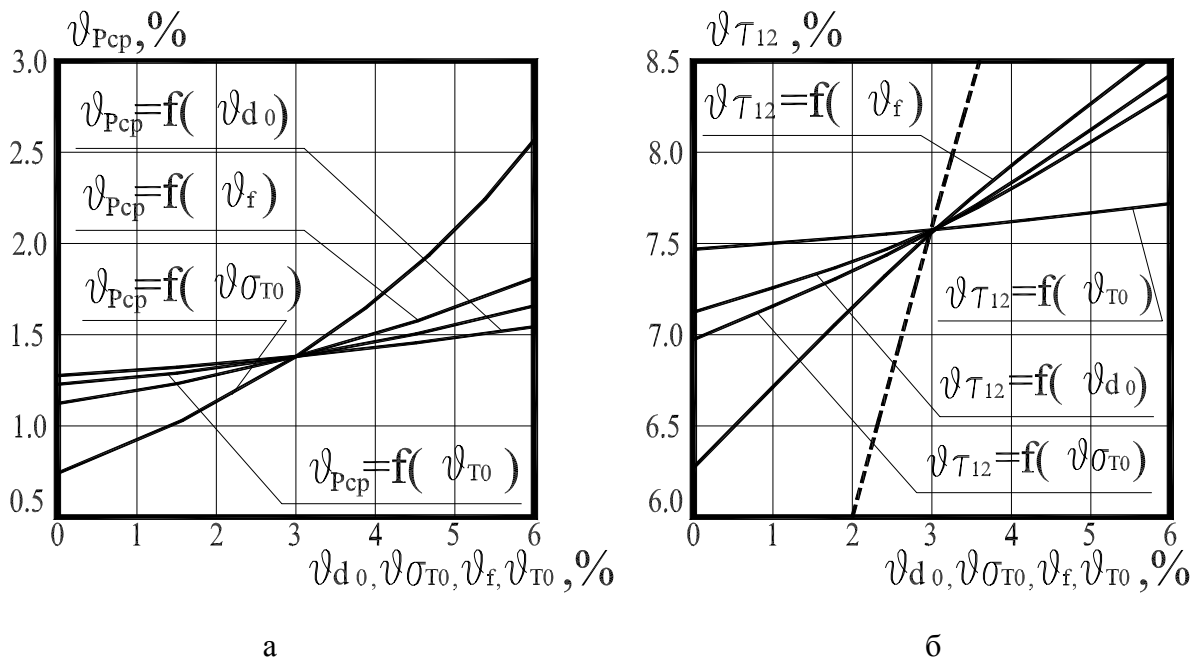


Рис. 3. Зависимость коэффициентов вариации средней величины нормальных контактных напряжений (а) и межслойных сдвиговых напряжений (б) при реализации процесса волочения биметаллической композиции «Сталь 08кп – Латунь Л63» от вариации исходных параметров

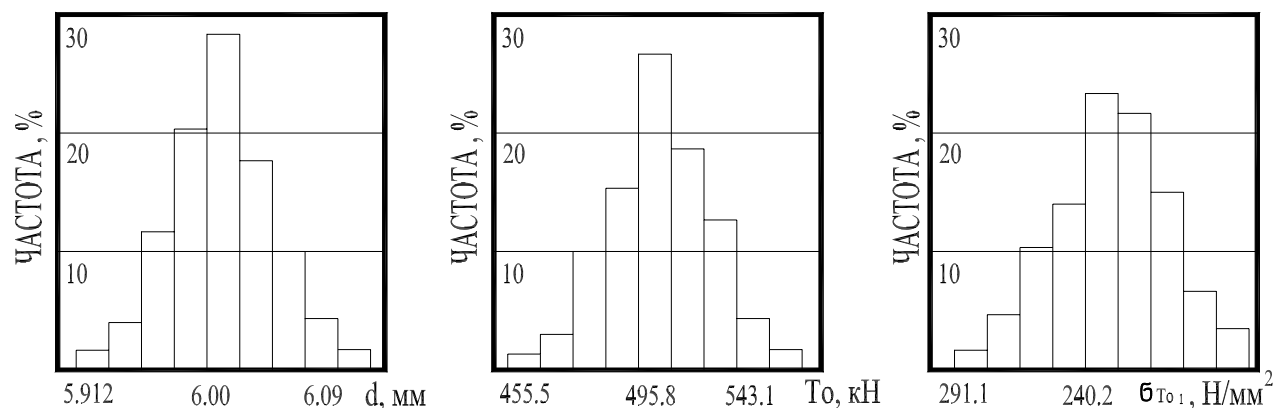


Рис. 4. Расчетные гистограммы распределений исходных параметров процесса волочения биметаллических композиций «Сталь 08кп–Латунь Л63»:

$$d_{01} = 5,5 \text{ мм}; d_{02} = 6 \text{ мм}; d_{0np} = 4,0 \text{ мм}; d_k = 5,0 \text{ мм}; \alpha = 10^\circ; f_0 = 0,08; T_0 = 0$$

ВЫВОДЫ

В целом, полученные результаты подтверждают то, что вариация исходных параметров процесса волочения полиметаллических композиций играет существенную роль как в формировании показателей качества готовых изделий, так и энергосиловых параметров процесса волочения и, следовательно, разработка мероприятий, направленных на обеспечение стабильности режима волочения позволит получать изделия с заданными показателями качества с точки зрения точности геометрических и механических характеристик в пределах партии одного номинального типоразмера.

ЛИТЕРАТУРА

1. Соболев И. Н. Численные методы Монте–Карло / И. Н. Соболев. – М. : Наука, 1973. – 301 с.
2. Бусленко Н. П. Метод статистических испытаний и его реализация на цифровых машинах / Н. П. Бусленко, Ю. А. Шредер. – М. : Наука, 1961. – 384 с.
3. Имитационное математическое моделирование основных показателей качества при реализации процесса волочения / С. В. Касьянюк, А. Н. Кулик, Ю. В. Фоменко // Совершенствование процессов и оборудования обработки давлением в металлургии и машиностроении : межвуз. сб. науч. трудов. – Краматорск. – 1998. – Вып. 4. – С. 116–118.
4. Математическое моделирование напряженно–деформированного состояния при волочении относительно тонких многослойных полиметаллических композиций / С. В. Касьянюк // Наука, производство, предпринимательство–развитию металлургии : сб. науч. тр. – Донецк, 1998. – С. 156–162.
5. Свистунов Е. А. Расчет деталей и узлов металлургических машин: справочник / Е. А. Свистунов, Е. А. Чиченев. – М. : Металлургия, 1985. – 184 с.
6. Методики и программные средства по имитационному математическому моделированию различных технологических схем листопрокатного производства / Сатонин А. В. – Краматорск, 1994. – 30 с. – Рус. – Деп. в ГНТБ Украины. – 15.08.94. – № 1661. – Ук. 94.

Касьянюк С. В. – канд. техн. наук, доц. ДГМА;
 Саплин С. Ю. – канд. техн. наук, ст. преп. ДГМА;
 Чемерис С. В. – ст. преп. ДГМА.

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

E-mail: skasenuk@mail.ru