

УДК 621.7.04
DOI: 10.12727/18096

В.А. Демин, д.т.н.,
(Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
105005, г. Москва, 2-я Бауманская, д. 5, стр. 1)
E-mail: va_demin@bk.ru

Научные технологии обработки давлением на современном этапе развития машиностроения

Изложены современные подходы к анализу процессов обработки металлов давлением. Предложено использовать методы планирования эксперимента для обработки результатов численного моделирования. Показано, что изменение параметров заготовки существенно влияет на параметры штамповки.

Ключевые слова: машиностроение; обработка металла давлением.

V.A. Demin, D.Eng.
(Bauman State Technical University of Moscow)
Build. 1, 5, 2-nd Baumanskaya Str., Moscow, 105005)

Science intensive technologies in shaping at current stage of mechanical engineering development

Current approaches to the analysis of metal shaping. It is pointed out that at the current stage it is necessary to design processes ensuring a specified material structure and an essential reserve of plasticity. Particular consideration is given to the problem of manufacturing products of powder and incompact materials. The approaches to the problem solution of metal stamping having anisotropic stress-strain properties are widely covered. It is offered to use methods of experiment planning for processing the results of computational modeling. It is offered to include random characteristics into a solution which could change at new metal lot obtaining. It is shown that changes in geometry, techniques and stress-strain properties can result in the considerable changes of values during metal shaping.

Keywords: mechanical; engineering; metal shaping.

Современное развитие машиностроения требует от исследователей более интенсивного изучения новых инновационных технологий [1]. На современном этапе обработкой давлением необходимо получать не просто детали без трещин, а с заданной структурой и запасом пластичности. Необходимо больше внимания уделять таким прогрессивным технологическим процессам как штамповке с кручением, прессованию с радиальным истечением материала, реверсивному выдавливанию и процессам прессования из порошка.

В листовой штамповке необходимо учитывать анизотропию свойств материала, необходимость изготовления деталей с заданным запасом пластичности.

Проектирование новых инновационных

технологических процессов невозможно без развития науки об обработке металлов давлением [2].

Необходимо учитывать, что формоизменение заготовок при правильно спроектированном технологическом процессе сопровождается изменением исходной структуры заготовок в направлении измельчения зерен, формирования необходимой структуры. Поэтому требуются новые подходы к решению поставленной задачи. Необходимо создавать и обосновывать новые модели уплотнения, консолидации и разрушения при деформации пористых материалов. В работе [3] на основе тензорных представлений об уплотнении создана теория технологической наследственности, связанная с формированием деформационной анизотро-

пии при обработке материалов с необратимой сжимаемостью.

На основе феноменологического подхода созданы теоретические положения консолидации некомпактных материалов, которые подтверждены экспериментальными исследованиями.

Устойчивое протекание технологического процесса листовой штамповки при различных температурно-скоростных режимах и анизотропии механических свойств рассмотрено в работе [4].

Для решения поставленной задачи вводится потенциал скоростей деформации анизотропного тела при кратковременной ползучести в следующем виде:

$$2f(\sigma_{ij}) = H(\sigma_x - \sigma_y)^2 + F(\sigma_y - \sigma_z)^2 + G(\sigma_z - \sigma_x)^2 + 2N\tau_{xy}^2 + 2L\tau_{yz}^2 + 2M\tau_{zx}^2 = 1, \quad (1)$$

ассоциированный закон пластического течения:

$$\begin{aligned} d\varepsilon_x &= d\lambda [H(\sigma_x - \sigma_y) + G(\sigma_x - \sigma_z)]; \\ d\gamma_{yz} &= d\lambda L \tau_{yz}; \\ d\varepsilon_y &= d\lambda [F(\sigma_y - \sigma_z) + H(\sigma_y - \sigma_x)]; \\ d\gamma_{zx} &= d\lambda M \tau_{zx}; \\ d\varepsilon_z &= d\lambda [G(\sigma_z - \sigma_x) + F(\sigma_z - \sigma_y)]; \\ d\gamma_{xy} &= d\lambda N \tau_{xy}, \end{aligned} \quad (2)$$

где H, F, G, N, L, M – параметры анизотропии при кратковременной ползучести; σ_{ij} – компоненты тензора напряжений; x, y, z – главные оси анизотропии.

Принимаются предложенные Р. Хиллом для формоизменения в условиях кратковременной ползучести эквивалентные напряжения σ_e :

$$\sigma_e = \left\{ 3 \left[R_x R_x (\sigma_x - \sigma_y)^2 + R_x (\sigma_y - \sigma_z)^2 + R_y (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 2R_y (R_{xy} \tau_{xy}^2 + R_{yz} \tau_{yz}^2 + R_{zx} \tau_{zx}^2) \right] / \left[2(R_x + R_x R_y + R_y) \right] \right\}^{1/2} \quad (3)$$

и эквивалентные скорости деформаций ξ_e :

$$\begin{aligned} \xi_e &= \sqrt{2(R_x + R_x R_y + R_y)} \left\{ R_x (R_x \xi_x - R_y \xi_y)^2 + R_x R_y (\xi_x - R_x \xi_z)^2 + R_x^2 (R_y \xi_x - \xi_x)^2 + \left(\frac{R_x^2}{2} \right) (R_x + R_y + 1)^2 \left[\frac{(\xi_{xy})^2}{R_{xy}} + \frac{(\xi_{yz})^2}{R_{yz}} + \frac{(\xi_{zx})^2}{R_{zx}} \right] \right\}^{1/2} / \left[\sqrt{3} R_x R_y^{1/2} (R_x + R_y + 1) \right], \quad (4) \end{aligned}$$

где $R_x = HG; R_y = HF; R_{xy} = NG; R_{yz} = LG; R_{zx} = MG$.

Решение системы уравнений, описывающих процесс пластической деформации металла, в которую входят уравнения (1) – (4), связано с существенными математическими трудностями. Поэтому для решения инженерных задач большинство уравнений существенно упрощают, как правило, принимая напряженно-деформированное состояние плоским и т.д. В результате получают решение, которое справедливо в широкой области, но имеет достаточно низкую точность.

Другим направлением решения наукоемких задач обработки металлов давлением, является использование различных численных методов. В большинстве пакетов прикладных программ сегодня возможно моделирование 3D. Данные решения обладают высокой точностью, но прогнозируют поведение металла только в узкой области заданных параметров процесса штамповки. Поэтому, даже при проектировании однотипных процессов необходимо снова моделировать весь процесс штамповки, что приводит к увеличению трудоемкости проектирования.

Для процессов, где сложно или невозможно применение аналитических и численных методов решения задач обработки металлов давлением, достаточно широко используются методы планирования эксперимента. Например, в работе [5] анализируется изменение механических характеристик углеродистых сталей при холодной объемной штамповке. Проведена оценка влияния процентного содержания углерода, наличия отжига заготовки и степени обжатия заготовки при выдавливании на механические характеристики стали. В результате получено уравнение регрессии, адекватно описывающее зависимость механических характеристик и принятых факторов.

В данной работе использован метод крутого восхождения по поверхности отклика и осуществлена оптимизация процесса выдавливания. Эта методика может эффективно применяться и для оптимизации других задач обработки металлов давлением.

Как правило, алгоритм решения задач обработки металлов давлением включает в себя следующие стадии:

- определение механических и геометрических характеристик заготовки;
- решение поставленной задачи аналитически или с использованием численных методов;

– анализ полученных результатов и подготовка рекомендаций для производства.

Однако большинство авторов не учитывают, что в соответствии с ГОСТ на поставку металла механические характеристики и геометрические размеры заготовок могут изменяться в достаточно больших пределах. Например, сталь 08 по ГОСТ 9045–93 «Прокат тонколистовой холоднокатаный из низкоуглеродистой качественной стали для холодной штамповки. Технические условия» толщиной 2 мм может иметь следующие характеристики (табл. 1).

А толщина листа при ширине проката от 1000 до 1500 мм по ГОСТ 19904–90 «Прокат листовой холоднокатаный. Сортамент» имеет следующие допуски:

- высокая точность, мм $\pm 0,11$
- повышенная точность, мм $\pm 0,15$
- нормальная точность, мм $\pm 0,18$.

Отсюда можно предположить, что рекомендации, полученные на заготовках из конкретной партии металла, могут существенно отличаться от полученных при поступлении металла из другой партии с другими механическими характеристиками и геометрическими параметрами.

В работе [6] показано, что учет возможного изменения механических, геометрических и технологических параметров может привести к колебаниям искомых параметров до 20 %.

Например, для стали 08 толщиной 2 мм, группы штампуемости СВ и нормальной точности, используя нормальное распределение, примем, что σ_b в диапазоне (250 ... 380 Н/мм²) может принимать значения (250,2; 275,1; 326,1; 295,5; 357 Н/мм²), толщина s в диапазоне (1,82...2,18 мм) может принимать значения (1,88; 1,98; 1,84; 2,1; 2,01 мм) и коэффициент трения μ может принимать значения (0,093; 0,123; 0,083; 0,074; 0,087).

Применяя методы планирования экспериментов, можно использовать численные решения для получения аналитических зависимостей для заданного диапазона изменения варьируемых факторов.

Если используется матрица полного

факторного эксперимента, то необходимо пятикратное повторение каждого опыта. Если проводится численный эксперимент, то например, первую строку матрицы планирования повторяем пять раз последовательно, меняя значения σ_b , s , μ . Для следующей строки получаем новый набор случайных значений σ_b , s , μ и так далее. Отсюда для получения необходимого решения для трех факторов необходимо провести 40 экспериментов.

Поэтому, часто используют дробную матрицу факторного плана. Это позволяет сократить в два раза количество экспериментов.

Интересно применение планов планирования эксперимента Бокса – Вильсона. Такой план был применен в работе [6]. По данным планам эксперименты повторяют только в центральной точке, что позволяет сократить их количество до 13.

Применение данной методики расчета позволяет по результатам численного анализа получить уравнения регрессии, описывающие исследуемый процесс, оценить достоверность полученной модели и, кроме этого, получить следующие сведения:

- среднеквадратическую ошибку для коэффициента регрессии;
- нижнюю границу доверительного интервала коэффициента регрессии;
- верхнюю границу доверительного интервала коэффициента регрессии;
- коэффициент инфляции дисперсии – меру инфляции коэффициента регрессии, обусловленную мультиколлинеарностью;
- текстовую статистику с распределением Стьюдента для проверки значимости коэффициента регрессии;
- F -значение – вероятность отбраковки члена на основе t -статистики.

Использование данной методики исследования позволяет получить более точные решения для заданной области изменения факторов, влияющих на процесс обработки металла давлением, а самое главное появляется возможность учета влияния изменений в свойствах заготовок при заказе новой партии металла.

1. Характеристики стали 08 по ГОСТ 9045-93

Способность к вытяжке	Предел текучести, Н/мм ² , не более	Временное сопротивление, Н/мм ²	Относительное удлинение, %, не менее
ОСВ	195	250...350	40
СВ	205	250...380	38
ВГ	–	250...390	29

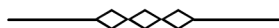
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Демин В.А. Инновационные технологии производства заготовок обработкой давлением // Научно-технические технологии в машиностроении. 2014. № 8(38). С. 3–5.
2. Дмитриев А.М., Демин В.А. Наука об обработке материалов давлением в комплексе с родственными науками // Научно-технические технологии в машиностроении. 2013. № 4(22). С. 16–19.
3. Шестаков Н.А., Субич В.Н., Демин В.А. Уплотнение, консолидация и разрушение пористых материалов. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2011. 264 с.
4. Яковлев С.С., Ларин С.Н., Леонова Е.В. Теоретические основы изотермического деформирования анизотропных высокопрочных материалов в режиме кратковременной ползучести // Известия ТулГУ. Технические науки. 2014. Вып. 1. С.110–122.
5. Дмитриев А.М., Гречников Ф.В., Коробова Н.В., Толмачев Н.С. Практическое использование изменения механических характеристик конструкционных углеродистых сталей при холодной объемной штамповке // Вестник МГТУ «Станкин». №4(31). 2014. С. 41–44.
6. Демин В.А., Бадулин Д.Н. Влияние отклонения характеристик заготовок на результаты расчета процессов обработки давлением // Научно-технические технологии в машиностроении. 2015. № 12(54). С. 41–44.

REFERENCES

1. Demin, V.A. Innovation techniques in billet manufacturing by shaping // *Science intensive techniques in Mechanical Engineering*. 2014. № 8(38). pp. 3–5.
2. Dmitriev, A.M., Demin, V.A., Science of material shaping with cognate sciences // *Science intensive technologies in Mechanical Engineering*. 2013. № 4(22). pp. 16.
3. Shestakov, N.A., Subich, V.N., Demin, V.A. *Compaction, Consolidation and Destruction of Porous Materials*. M.: FIZMATLIT, 2011. pp. 264.
4. Yakovlev, S.S., Larin, S.N., Leonova, E.V. Theoretical fundamentals of isotherm deformation of anisotropic high-strength materials in mode of short-time creep // *Proceedings of TULSU. Engineering Sciences*. 2014. Edition. 1. pp.110–122.
5. Dmitriev, A.M., Grechnikov, F.V., Korobova, N.V., Tolmachev, N.S. Practical use of mechanical data of structural and carbon steel at cold die forging // *Bulletin of MSTU "Stankin"*. №4(31). 2014. pp. 41–44.
6. Demin, V.A., Badulin, D.N. Influence of deviation in billet characteristics upon computation results of shaping processes // *Science intensive techniques in Mechanical Engineering*. 2015. № 12(54). pp. 41–44.

Рецензент д.т.н. С.Н. Ларин



Реклама Вашей продукции в нашем журнале – один из способов достижения Вашего успеха!

Журнал «Научно-технические технологии в машиностроении» читают руководители и специалисты предприятий машиностроительного комплекса.

Публикация рекламного объявления в нашем журнале даст Вам возможность:

- найти партнеров, заинтересованных в современных исследованиях, а также внедрении Ваших идей и разработок в области машиностроения;
- установить контакты с организациями и фирмами России и стран ближнего и дальнего зарубежья;
- наладить обмен информацией.

Обращайтесь в редакцию! E-mail: naukatm@yandex.ru