

Изв.АН СССР. 1963. №1. с.166-171.

8. Кийко И.А. Вариационный принцип в задачах течения тонкого слоя пластического вещества // Докл. АН СССР. 1964. т. 157. № 3. с. 551–553.

9. Кадымов В.А. Некоторые задачи пластического течения в тонком слое металла // Канд. дисс., М.: МГУ. 1981. 108с.

10. Безухов В.Н. Об осадке пластического слоя некруговой формы в плане // Канд. дисс., М.: МГУ. 1955. 78с.

11. Кийко И.А. Пластическое течение металлов// В сб. «Научные основы прогрессивной техники и технологии». М.,1985.С.102-133.

12. 4. Белов Н.А., Кадымов В.А. О краевой задаче течения пластического слоя между сближающимися жесткими плитами // Изв.РАН.МТТ. 2011. №1. с.46-58.

13. Полянин А.Д., Зайцев В.Ф. Справочник по нелинейным уравнениям математической физики. Точные решения // М.: Физматлит. 2002. 432с.

14. Кадымов В.А. Автомодельные уравнения в задаче растекания пластического слоя на плоскости и их решения // Вестник ТулГУ. 2009. т.15. вып.2. с.38-44.

15. Кадымов В.А., Белов Н.А. О точных решениях уравнения растекания пластического слоя на плоскости // Тр. межд. научно-техн. конф. «Совр. метал. матер. и технол. (СММТ'2011)»,СПбГПУ. 2011. с.33-36.

16. Кийко И.А. О форме пластического слоя, сжимаемого параллельными плоскостями // ПММ. 2011. т. 75. вып.1. с.15-26.

17. Кадымов В.А., Быстриков С.К. Некоторые новые решения нестационарных задач растекания пластического слоя по деформируемым поверхностям // Изв. Тул.ГУ. 2006. т.11 . в.2. с.54-60.

18. Kadymov V. Mathematical modeling of contact problems of plastic flow // Nonlinear Anal.Theory &Appl. Gr.Br. 1997. v.S0. №8.

19. Кийко И.А.Анизотропия в процессах течения тонкого пластического слоя // ПММ, 2006. т.70. вып.2. с.344-351.

20. Кийко И.А., Кадымов В.А. Обобщения задачи Л.Прандтля о сжатии полосы // Вестн.Моск.Ун-та. Сер.1. 2003. №4. с.50-56.

21. Кийко И.А.Обобщение задачи Л.Прандтля о сжатии полосы на случай сжимаемого материала // Вестн.Моск.Ун-та. 2002, №4. с.47-52.

22.Мохель А.Н., Салганик Р.Л. Тонкий пластический слой с произвольным контуром, сжимаемый между жесткими плитами // ДАН СССР. 1987. т.293. №4. с.809-813.

23. Кадымов В.А., Белов Н.А. О растекании между сближающимися жесткими плитами пластического слоя, состоящего из разных сред // Матер.межд.научн.конф. «Совр. пробл. матем., мех. и инф-ки». Тула: ТулГУ. 2012. с.150-157

Расчет по мощности КГШП для техпроцессов термомеханической обработки

д.т.н. проф. Радкевич М.М., Фомин Д.Ю.

Санкт-Петербургский государственный политехнический ун-тет

+7 (812) 552-6623, +7 (812) 552-9302

Аннотация. Рассчитано усилие штамповки поковки удлиненной формы при различной температуре в открытом штампе по формуле М.В.Сторожева и произведено сравнение с усилием штамповки идентичной поковки в результате конечно-элементного моделирования. Предложены варианты корректировки формул.

Ключевые слова: штамповка, поковка, открытый штамп, усилие штамповки, конечно-элементное моделирование

Повысить эффективность технологических процессов термомеханической обработки возможно за счет рационализации температурных, временных, силовых схем деформацион-

но-термического воздействия на металл. При этом не менее значимой представляется задача оптимизация агрегатной схемы технологического процесса.

Нам было важно определить, насколько точно по формулам А.В.Ребельского [1], Л.В.Прозорова [2], М.В.Сторожева [3,4], по которым подбирается КГШП, молоты, ГKM, определяется усилие штамповки P , необходимое для проведения процесса формоизменения стальной заготовки. Область наших интересов – теплая и горячая облойная штамповка, поэтому мы рассчитали необходимое усилие штамповки поковки тип ««тяга соединительная» по формуле 1 (формула М.В.Сторожева) [5] для ручья штампа, представленного на рисунке 1. Результаты расчетов представлены в таблице 1.

$$P = 1.15\sigma_s \left[\left(1 + 0.5 \frac{b}{h_3} \right) F_3 + \left(1 + \frac{b}{h_3} + 0.1 \frac{a}{h_3} \right) F_{\Pi} \right], \quad (1)$$

где σ_s – напряжение текучести металла, соответствующее температуре и скорости деформации при штамповке, приблизительно равное временному сопротивлению на растяжение при той же температуре, кГ/мм²; b – ширина мостика канавки для заусенца, мм; h_3 – толщина заусенца в мостике, мм; F_{Π} – площадь проекции поковки на плоскости разреза, мм²; F_3 – площадь мостика канавки для заусенца, мм²; d – диаметр или сторона квадрата поковки в плане, мм; a – средняя ширина поковки, мм.

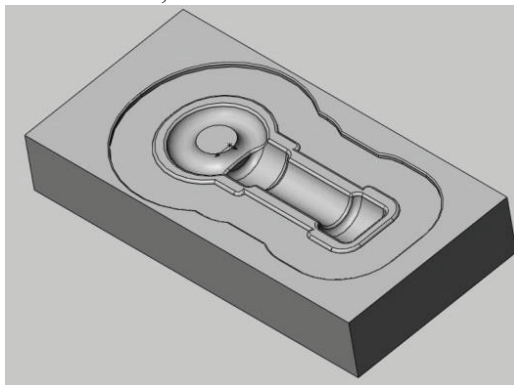


Рисунок 1. Геометрическая модель нижней плиты штампа

Размер заготовки был определен расчетным путем: длина 180 мм, диаметр 50 мм. Минимальный диаметр ручья штампа составил 30 мм, максимальный размер 175 мм.

Расчеты по формуле М.В. Сторожева показали, что усилие штамповки P определяется по формуле однофакторно как пропорциональное напряжению текучести металла σ_s .

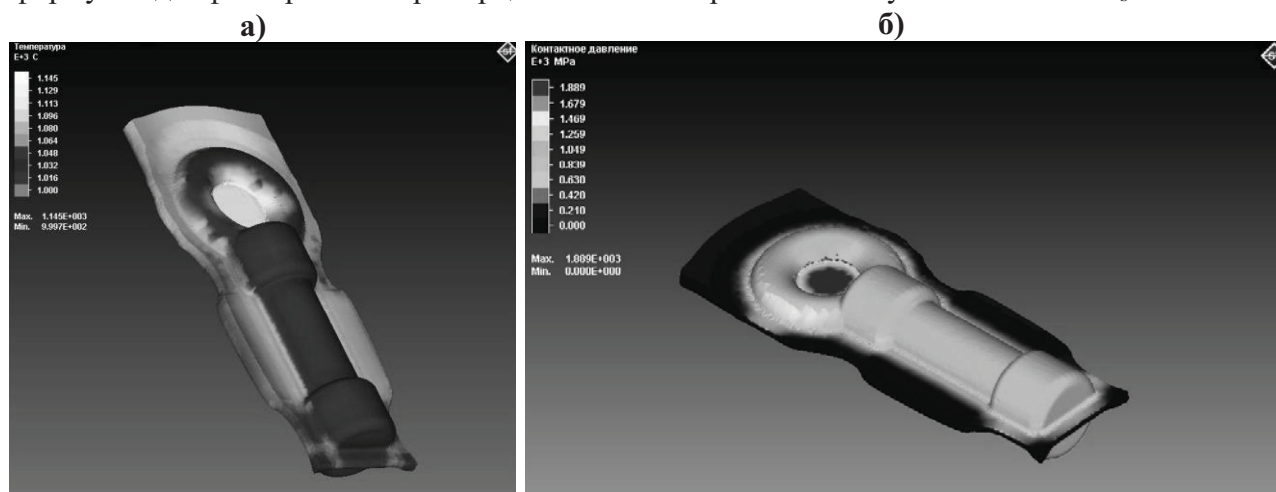


Рисунок 2. Геометрическая модель поковки: а) – распределение температурного поля; б) – контактное давление в ручье штампа

Для сопоставления результатов нами была проведена симуляция упруго-пластичного деформирования металлической заготовки при осуществлении процесса облойной штамповки поковки (чистовой ручей на рисунке 1) на КГШП в программном комплексе simufact (msc.superforge) для стали 45 и 40X в диапазоне температур $T_d=800\div1200^\circ\text{C}$. По данным

пользователей программы погрешность в расчетах не превышает 5-10%. В результате были получены модели поковки (рисунок 2,а-б), а также рассчитанные программой величины усилия штамповки P в зависимости от температуры деформации (таблица 1). Анализ данных моделирования позволяет заключить, что динамика изменения усилия штамповки не соответствует динамике изменения напряжения текучести металла, то есть P не пропорционально σ_s .

Таблица 1

Усилия штамповки, рассчитанные по формуле и моделированием

Сталь 45							
№	Температура деформации $T_d, ^\circ\text{C}$	$\sigma_s, \text{кгс/мм}^2$	$\Delta\sigma_s, \%$	Усилие P по формуле 1, кН	ΔP по формуле 1, %	Усилие P при моделировании, кН	ΔP при моделировании, %
1.	900	8.3	-	7 197.70	-	11 300	-
2.	1000	5.1	$\Delta\sigma_{s1-2} = 63\%$	4 422.68	$\Delta P_{1-2} = 63\%$	11 000	$\Delta P_{1-2} = 3\%$
3.	1100	3.1	$\Delta\sigma_{s2-3} = 65\%$	2 688.30	$\Delta P_{2-3} = 65\%$	9 300	$\Delta P_{2-3} = 18\%$
4.	1200	2.1	$\Delta\sigma_{s3-4} = 48\%$	1 821.11	$\Delta P_{3-4} = 48\%$	9 500	$\Delta P_{3-4} = 2\%$
Сталь 40X							
1.	800	10	-	9 748.09	-	11 100	-
2.	900	7.04	$\Delta\sigma_{s1-2} = 42\%$	6 862.66	$\Delta P_{1-2} = 42\%$	10 200	$\Delta P_{1-2} = 9\%$
3.	1000	4.38	$\Delta\sigma_{s2-3} = 61\%$	4 269.66	$\Delta P_{2-3} = 61\%$	8 500	$\Delta P_{2-3} = 20\%$
4.	1100	2.65	$\Delta\sigma_{s3-4} = 65\%$	2 583.24	$\Delta P_{3-4} = 65\%$	8 400	$\Delta P_{3-4} = 1\%$
5.	1200	2.44	$\Delta\sigma_{s4-5} = 9\%$	2 378.53	$\Delta P_{4-5} = 9\%$	8 700	$\Delta P_{4-5} = 9\%$

По результатам анализа таблицы 1 установлено, что в интервале температур деформирования $T_d \in [800 \div 1200]^\circ\text{C}$ расчетные усилия штамповки ниже реальных (моделирование) усилий в 2-4 раза. По-видимому, в расчетных формулах не учитывается многофакторность процесса пластической деформации и неоднородность формирования очага деформации, а поэтому требуется их корректировка за счет введения корректирующих коэффициентов.

Нами были рассмотрены варианты корректировки формулы за счет введения корректирующих скоростных и масштабных коэффициентов. Показано, что применение скоростных коэффициентов равных скоростным коэффициентам С.И.Губкина [6] не достаточно для получения расчетных значений P , близких к реальным в пределах приемлемой погрешности 10%. Поэтому нами был введен в расчетные формулы коэффициент k (таблица 2), вычисленный эмпирическим путем, применение которого к формуле М.В. Сторожева обеспечивает расчет усилия штамповки с средней погрешностью 8% (рисунок 3).

Таблица 2

Значения коэффициента k

Отношение температур деформации		
$T_d / T_{пл} = 0.5 \div 0.6$	$T_d / T_{пл} = 0.6 \div 0.7$	$T_d / T_{пл} = 0.7 \div 0.8$
1.0 ÷ 1.5	1.5 ÷ 2.5	3.0 ÷ 4.0

В случае применения предлагаемого коэффициента k формула М.В. Сторожева примет следующий вид:

$$P = 1.15\sigma_s \left[\left(1 + 0.5 \frac{b}{h_3} \right) F_3 + \left(1 + \frac{b}{h_3} + 0.1 \frac{a}{h_3} \right) F_n \right] \quad (2)$$

Для наглядного сравнения эффективности использования коэффициента k на рисунке 3,4 показаны кривые зависимостей величины усилия деформирования от температуры штамповки рассчитанные по формуле М.В. Сторожева с использованием коэффициента k и без него.

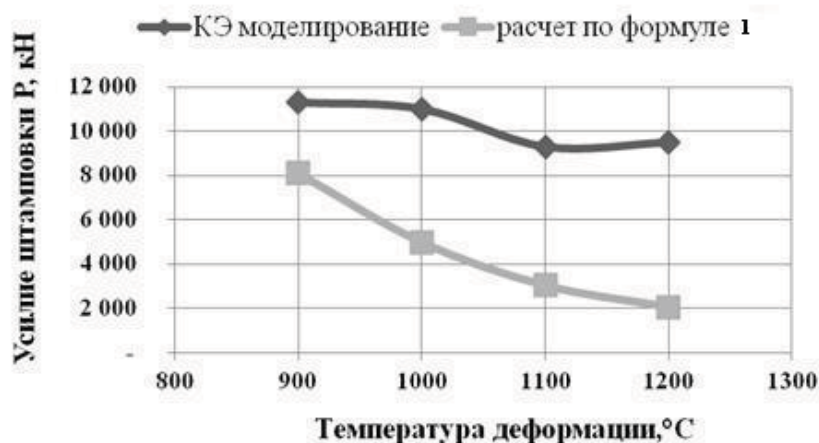


Рисунок 3. Изменение усилия штамповки в зависимости от температуры штамповки поковки из стали 45 без применения коэффициента k

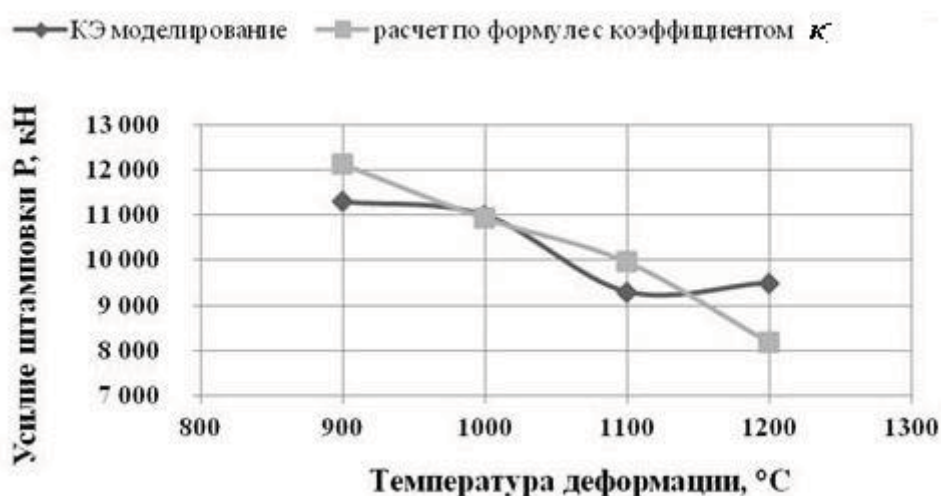


Рисунок 4. Изменение усилия штамповки в зависимости от температуры штамповки поковки из стали 45 при применении коэффициента k

Выводы

По результатам компьютерного моделирования установлено, что расчет усилия штамповки по формуле М.В. Сторожева в целях подбора КГШП по мощности при проектировании технологических процессов кузнечно – штамповочного производства не обеспечивает достоверного результата. Расчетные усилия P ниже реальных в 2-4 раза в интервале температур деформирования $T_d \in [800 \div 1200]^\circ\text{C}$. Расчетные формулы не учитывают многофакторность процесса пластической деформации, определяемую неоднородностью формирования очага деформации, а поэтому требуют корректировки.

Применение скоростных коэффициентов, равных скоростным коэффициентам С.И.Губкина, не достаточно для получения расчетных значений P , близких к реальным в пределах погрешности 10%.

Предложена корректировка формулы М.В.Сторожева за счет внедрения в нее коэффициента k , который обеспечивает расчет необходимого усилия деформирования P с погрешностью в пределах 10%.

Литература

1. Ребельский А.В. Основы проектирования процессов горячей объемной штамповки. - М.:Машиностроение,1965.
2. Прозоров Л.В. Прессование стали. - М.: Машгиз,1956.
3. Сторожев М.В. Ковка и объемная штамповка стали: Справочник /Под ред. М.В. Стороже-

ва. –Т1-2.- М.: Машиностроение, 1967-1968.

4. Семенов Е.И. Ковка и штамповка. - М.: Машиностроение, 2010

5. Соколов А.В., Палтиеви́ч А.Р., Кириля́нчик А.С. Проектирование технологических процессов кузнечно – штамповочного производства. - М.: МАТИ, 2007.

6. Губкин С. И. Пластическая деформация металлов. Т.1-3. — М.: Металлургиздат, 1960-61.

Разработка подсистемы САПР технологических процессов производства ювелирных изделий

Сидельников С.Б., Довженко Н.Н., Гайлис Ю.Д., Лебедева О.С.

*Сибирский федеральный университет
8 (391) 206-37-31, sbs270359@yandex.ru*

Анотация. Разработаны алгоритмы и методики проектирования технологических процессов листовой, сортовой прокатки и волочения длинномерных полуфабрикатов для производства ювелирных изделий из драгоценных металлов и их сплавов. Создано программное обеспечение, позволяющее рассчитать деформационные режимы и энергосиловые параметры проектируемых процессов с визуализацией данных в табличном и графическом видах. Проведена адаптация разработанной САПР к условиям производства ювелирных цепей из золота 585 пробы на Красноярском заводе цветных металлов.

Ключевые слова: САПР, ювелирное производство, обработка металлов давлением, прокатка, волочение

Введение

Для автоматизации трудоемких расчетов многопереходных процессов прокатки и волочения целесообразно применять системы автоматизированного проектирования (САПР). Эффективность таких систем существенно повышается при адаптации САПР к конкретному производственному процессу, в качестве которого для отладки программного обеспечения был выбран технологический процесс получения длинномерных полуфабрикатов для изготовления ювелирных изделий на ОАО «Красноярский завод цветных металлов» (ОАО «Красцветмет»). Как показал анализ научно-технической литературы, существующие программные продукты имеют узкую область применения и высокую вероятность ошибки при расчетах энергосиловых параметров для обработки драгоценных металлов (золота, серебра, палладия и др.) и их сплавов, информация по механическим свойствам которых отсутствует.

Полуфабрикатами при производстве ювелирных изделий, независимо от применяемой технологии и материалов, являются: ленты и полосы, полученные холодной листовой прокаткой (для дальнейших операций штамповки, вырубки и др.), а также прутки после сортовой прокатки для последующего волочения проволоки. Актуальность разработки программного обеспечения для сопровождения таких технологических процессов изготовления изделий из сплавов драгоценных металлов не вызывает сомнений. При этом потребность в подобных САПР существенно возрастает при проектировании технологий производства деформированных полуфабрикатов из новых сплавов, а также для решения задач их обработки методом холодной сортовой прокатки, для которой в литературе отсутствуют методики расчета формоизменения и силовых затрат.

Постановка задачи

В связи с этим в рамках создания САПР производства ювелирных изделий разработана подсистема «PROVOL» для проектирования процессов листовой, сортовой прокатки и волочения длинномерных полуфабрикатов, которая позволяет производить выбор оборудования, многооперационные расчеты технологических параметров обозначенных процессов и использовать базу данных со свойствами наиболее распространенных цветных металлов и сплавов, в том числе драгоценных.