

# Пленарные доклады Международных научных конференций и семинаров

*В этом номере журнала публикуются пленарные доклады*

*XI МНТК «Инновационные технологии машиностроения в транспортном комплексе  
(ТМ-2019)», г. Калининград (10-13 сентября 2019 г.)*

УДК 621.7.04

DOI: 10.30987/article\_5d2635cb0c0263.12766834

**В.А. Дёмин**, д.т.н.

(ФГБОУ ВО МГТУ имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет),  
105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр.)

E-mail: va\_demin@bk.ru

## Инновационные технологии в обработке металлов давлением для транспортного машиностроения

*Представлены современные инновационные технологии в обработке металлов давлением для транспортного машиностроения. Выполнен анализ влияния механических свойств заготовок на качество деталей. Рассмотрен способ упрочнения поверхностного слоя резьбы. Выполнена оценка влияния коэффициентов вытяжки и анизотропии на величину фестонов.*

**Ключевые слова:** обработка металла давлением; листовая штамповка; вытяжка.

**V.A. Demin**, Dr. Sc. Tech.

(FSBEI of HE Bauman STU of Moscow (National Research University),  
Building 1, 5, 2-d Baumanskaya Str., Moscow, 105005)

## Innovation technologies in metal pressure forming for transport engineering

*Modern innovation technologies in metal pressure forming for transport engineering are presented. The analysis of the blank stress-strain properties impact upon parts quality is carried out. A method for thread surface layer strengthening is considered. The impact assessment of an elongation ratio and anisotropy upon ear values is carried out.*

**Keywords:** metal pressure forming; sheet stamping; elongation.

В транспортном машиностроении предъявляются повышенные требования к надежности используемых деталей и узлов, что связано с перевозкой людей. Выход из строя даже небольшой детали, может повлечь катастрофические последствия. Естественно эти требования переносятся на заготовки, получаемые обработкой металла давлением.

На качество получаемых обработкой метал-

ла давлением деталей существенное влияние оказывают механические и геометрические характеристики заготовки. В тоже время в справочной литературе эти характеристики приводятся приближенно. Причем конструкторы, как правило, берут данные из справочника [1], а технологи используют специализированные справочники по обработке металлов давлением.

В настоящее время основным справочником для холодной штамповки, который используется в промышленности, является справочник В.П. Романовского [2]. Механические свойства для сталей 08, 08кп, 08ю, ОСВ, СВ –  $\sigma_u = 260...330 \text{ Н/мм}^2$  и  $\delta_3 = 33...35 \%$ ;  $\delta_{10} = 42...44 \%$ . В тоже время в справочнике [3] для стали 08Ю –  $\sigma_u = 323 \text{ Н/мм}^2$  и  $\delta_{10} = 46 \%$ , для стали 08кп  $\sigma_u = 363 \text{ Н/мм}^2$  и  $\delta_{10} = 34\%$  или  $\sigma_u = 380 \text{ Н/мм}^2$  и  $\delta_{10} = 30\%$  в зависимости от ГОСТ по которому осуществляется поставка металла. В учебнике [4] для стали 08кп –  $\sigma_u = 260...380 \text{ Н/мм}^2$  и  $\delta = 26...29 \%$ , для сталей 08пс и 08 –  $\sigma_u = 270...410 \text{ Н/мм}^2$  и  $\delta = 25...28 \%$ .

В тоже время по ГОСТ основные свойства стали 08 изменяются в пределах

$$\sigma_u = 250...540 \text{ Н/мм}^2 \text{ и } \delta = 4...44 \%$$

Проблема выбора характеристик стали 08 для листовой штамповки достаточно подробно рассмотрена в работе [5]. Изменение механических свойств стали в процессе штамповки учитывают при помощи кривых упрочнения. На рис.1 показано, как может изменяться кривая упрочнения стали 08ВГ по ГОСТ.

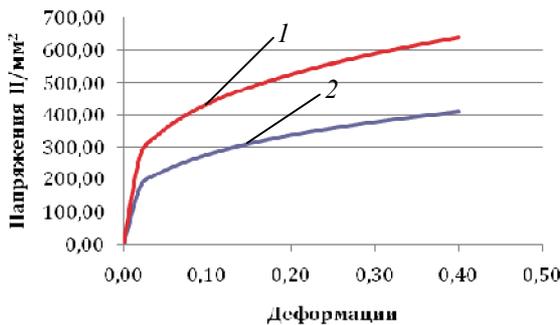


Рис. 1. Кривые упрочнения для стали 08ВГ:  
1 –  $\sigma_b = 390 \text{ Н/мм}^2$ ; 2 –  $\sigma_b = 250 \text{ Н/мм}^2$

Анализ кривых упрочнения, представленных на рис. 1 показывает, что при таком диапазоне изменения напряжений и деформаций, даже для одной группы штампуемости, при расчете технологического процесса необходимо учитывать колебания напряжений. В работе [8] показано, что изменение кривой упрочнения может оказывать существенное влияние на максимальные радиальные напряжения при вытяжке.

Для решения задач листовой штамповки используются условия текучести Губера-Мизеса или Треска-Сен-Венана. На рис. 2 показано, как может меняться условие пластичности для стали 08ВГ (естественно, для всех групп штампуемости стали 08 диапазон изменения существенно выше).

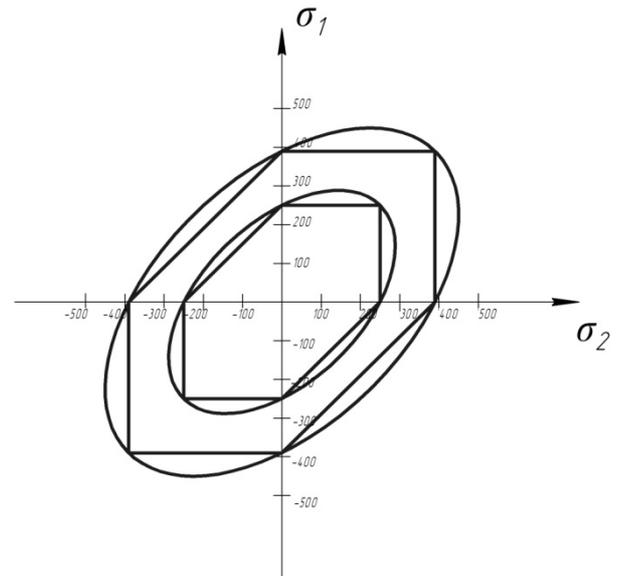


Рис. 2. Условие пластичности для стали 08ВГ

Анализ (см. рис. 2) показывает, что разница между условиями пластичности намного меньше колебаний механических свойств по ГОСТ. Это позволяет сделать вывод о том, что при анализе реальных технологических процессов при необходимости заказа конкретного материала по ГОСТ, важнее учитывать изменение механических свойств, а не форму записи условия пластичности.

Одной из наиболее ответственных деталей двигателя автомобиля являются высоконагруженные пружины сжатия. К этим пружинам предъявляются высокие требования по соблюдению допусков на геометрические размеры, силовые характеристики, криву, а также требования неограниченной выносливости, необходимо чтобы количество дефектных пружин на один миллион произведенных изделий равнялось нулю.

В работе [7] рассмотрены способы получения высоконагруженных пружин на примере пружины сжатия (клапана) двигателя ВАЗ 2112 (рис. 3).

Особые требования предъявляются к механическим характеристикам проволоки. По ГОСТ 1071-81 для пружин сжатия временное сопротивление для проволоки марки А может колебаться не более  $150 \text{ Н/мм}^2$ .

Разброс величин механических свойств проволоки, даже в пределах установленных допусков, приводит к отклонениям геометрических размеров пружины по диаметру и высоте и нестабильности силовых параметров и разбросу характеристик пружин даже в одной партии. Стабильность величины предела

прочности по длине мотка позволяет изготовить пружины в пределах заданных допусков по геометрическим размерам пружины.

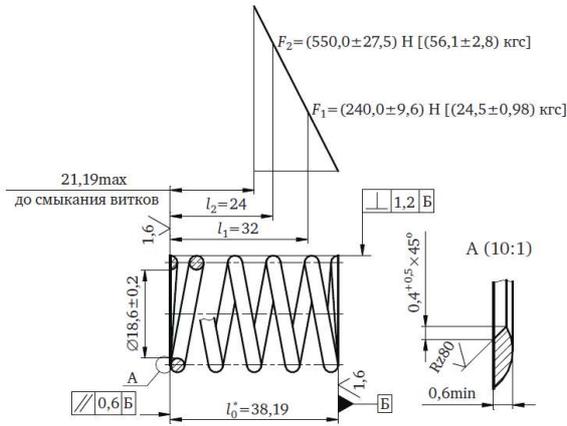


Рис. 3. Пружина сжатия (клапана) двигателя ВАЗ 2112

Материал для пружин марки Oteva 70 должен иметь исполнение с высокой степенью чистоты при выплавке по неметаллическим включениям и имеет дополнительную маркировку SC (Super Clean).

Соблюдение заданных допусков на высоту пружин во многом зависит от разброса предела прочности и предела текучести проволоки в мотке, коэффициента трения между поверхностью проволоки и формообразующей оснасткой, поверхностного покрытия проволоки, скорости деформации, технического состояния пружинонавивочного оборудования, точности настройки автомата.

Согласно стандарта фирмы Garphyttan разброс временного сопротивления в пределах одного мотка должен составлять не более  $50 \text{ Н/мм}^2$ . В тоже время проволока российского производства имеет разброс значения предела прочности до  $70 \text{ Н/мм}^2$ , что не позволяет использовать эту проволоку для тяжелонагруженных пружин. Причем необходимо отметить, что и при штамповке из импортной проволоки приходится через каждые 20 мин останавливать автоматическую линию и проводить подналадку оборудования.

Для обеспечения заданного качества из каждой партии пружин отбиралась опытная партия, которая проходила испытания на стенде. Для проведения обычных испытаний, заданных чертежом пружины  $6 \times 10^6$  циклов, продолжительность испытаний составит  $m = 89$  ч. Продолжительность обычных испытаний при  $26,1 \times 10^6$  циклов составляла 387 ч работы стенда.

Разработана технология изготовления высоконагруженных пружин сжатия двигателей ВАЗ, применение которой позволило:

- повысить качество пружин и снизить объем технологического брака при контроле нагрузки в 1,5 – 2 раза;
- уменьшить остаточную деформацию при испытаниях на крип с 6,0...7,5 % до 3,0...5,0 %;
- снизить потребление электроэнергии в 2 раза и трудоемкость до 1,5 раз вследствие уменьшения температуры с 380 до 240 °С, исключения 4-х технологических операций и операции сортировки по нагрузке.

В транспортном машиностроении достаточно широко используются резьбовые соединения. Для увеличения их прочности часто применяется закалка, которая снижает пластичность материала и может привести к разрушению материала в процессе работы.

Решение проблемы износостойкости и прочности резьбового соединения может быть достигнуто за счет упрочнения профиля резьбы поверхностным-пластическим деформированием с одновременным наложением ультразвуковых колебаний (УЗК) радиального типа. Ультразвуковое воздействие позволяет повысить качественные характеристики поверхностного слоя за счет изменения микроструктуры и микротвёрдости, а, следовательно, повысить ресурс работы резьбовых соединений.

В работе [8] проведено исследование ультразвукового упрочнения резьбы.

На рис. 4 показаны образцы для измерения микротвердости.

Участок резьбового соединения с металлографическим шлифом представлен на рис. 5.

В результате проведенных исследований было установлено, что толщина модифицированного слоя не превышает 70 мкм. С увеличением глубины микротвёрдость снижается и плавно переходит в начальную. Это позволяет избежать хрупкого излома резьбового участка при эксплуатации резьбы. При этом основное изменение микротвёрдости происходит в приповерхностном слое толщиной до 20 мкм. Проведенные в данном слое дополнительные измерения микротвёрдости показали, что на экспериментальном образце микротвёрдость в различных областях резьбы изменяется незначительно: от 340 HV у вершины зубьев до 350 HV у основания. Сравнение с микротвёрдостью сердцевины показало, что проведенное упрочнение позволило повысить микротвёрдость поверхности в 1,5 – 1,6 раза на профиле резьбы экспериментального образца.

Высокая микротвердость поверхностного

слоя и относительно низкая твердость тела трубы, позволяют избежать хрупкого излома резьбового участка при эксплуатации резьбы.



Рис. 4. Подготовка образца для измерения микротвердости



Рис. 5. Металлографический шлиф участка резьбы

Продолжаются работы по исследованию влияния анизотропии на качество получаемых обработкой металла давлением деталей. В работе [9] рассмотрено влияние анизотропии на величину фестонов при вытяжке цилиндрических стаканчиков.

Дело в том, что после вытяжки на цилиндрической части появляются неровности, которые приходится обрезать. С другой стороны

величина фестонов зависит от коэффициентов вытяжки и анизотропии. С учетом того, что точность получаемых листовой штамповкой деталей, как правило, регламентируется по IT14, представляет интерес следующий вопрос: при каких значения коэффициентов вытяжки и анизотропии не требуется обрезка заготовки.

Моделирование проводили с использованием программы AutoForm, для сталей DC03, DC04 и DC05, которые аналогичны российской стали марки 08.

Приняли, что  $U$  – разница между минимальной и максимальной высотой фестона. Анализ результатов моделирования показал, что для разных коэффициентов вытяжки отсутствует совпадение по характеру изменения высоты цилиндрической детали. Для анализа результатов вводим безразмерную величину  $u = U / h$  – «коэффициент фестонообразования». Здесь  $h$  – теоретическая высота цилиндрической детали, которая рассчитана следующим образом:

$$h = 0,25 * (d_0 * K - d_1) + 0,43 * \frac{r_p}{d_1} * (d_1 + 0,32 * r_p),$$

где  $r_p$  – радиус пуансона;  $K = d_0/d_1$  ( $d_0$  – диаметр заготовки,  $d_1$  – диаметр детали).

В программе AutoForm используется коэффициент анизотропии  $r_m$ , который вычисляется по формуле

$$r_m = \frac{r_0 + 2r_{45} + r_{90}}{4},$$

где  $r_0, r_{45}, r_{90}$  – коэффициенты анизотропии в направлении  $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$  к направлению прокатки, соответственно.

Анализ результатов показал, что высота фестонов уменьшается от DC03 до DC05. Однако  $r_m$  имеет минимальное значение для DC04, поэтому в дальнейших расчетах использовали коэффициент плоскостной анизотропии  $\Delta r$ , который вычисляли по формуле

$$\Delta r = \frac{r_0 - 2r_{45} + r_{90}}{2}.$$

Результаты моделирования для DC03, DC04 и DC05 приведены на рис. 6.

Анализ результатов моделирования позволяет сделать вывод, что стали с наибольшим расхождением между значениями  $r$  и, следовательно, высоким значением  $\Delta r$  показывают самый большой размер фестонов.

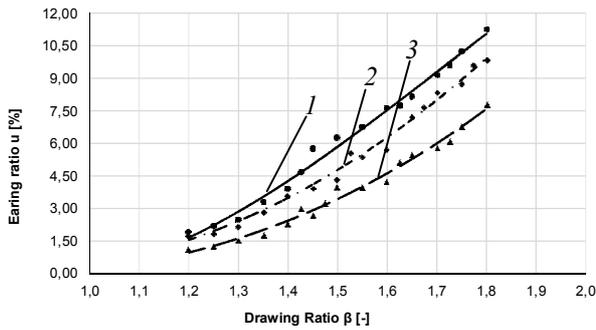


Рис. 6. Зависимость фестонообразования от коэффициента вытяжки:

1– DC03; 2– DC04; 3– DC05

Рассмотрим пример расчета. Например, при штамповке цилиндрического стаканчика с размерами:  $d_1 = 70$  мм;  $r_p = 8$  мм и толщиной = 1 мм, допуск на высоту стаканчика (70 мм), определенные ГОСТ 25346-89, составляет 0,74 мм. В случае DC05, например, если  $K < 1,5$ , дополнительный материал для обрезки не нужен, и эта технологическая операция может быть исключена. Так же отпадает необходимость во второй операции вытяжки.

Было проведено математическое моделирование для оценки влияния коэффициента вытяжки и анизотропии на размер фестонов. Результаты показаны на рис. 7.

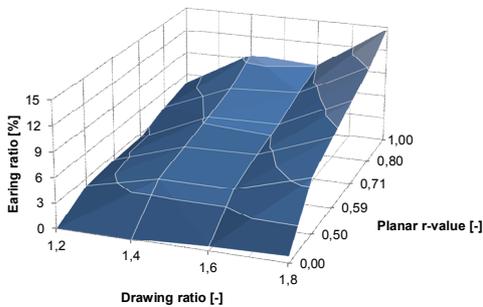


Рис. 7. Зависимость коэффициента фестонообразования от коэффициента вытяжки и анизотропии

Из рис.6 видно, что увеличение конечного значения  $r$  для вытяжки может привести к значительному увеличению размера фестонов. Поэтому необходимо проверить, не отличается ли разница в диаметрах между выступом и впадиной фестонов с заданной точностью по высоте штампуемой детали.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анурьев, В.И. Справочник конструктора машиностроителя. – Т.1. – М.: Машиностроение, 1979. – 728 с.

2. Романовский, В.П. Справочник по холодной штамповке. – Л.: Машиностроение, 1979. – 520 с.

3. Справочник конструктора штампов: Листовая штамповка / под общ. ред. Л.И. Рудмана. – М.: Машиностроение, 1988. – 496 с.

4. Ильин, Л.Н., Семенов, И.Е. Технология листовой штамповки: учеб. для вузов. – М.: Дрофа, 2009. – 475 с.

5. Демин, В.А. Выбор характеристик стали марки 08 для листовой штамповки // Научно-технические технологии в машиностроении. – 2019. – № 3(93). – С. 3-7.

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.

7. Лавриненко, Ю.А. Изготовление высоконагруженных пружин сжатия. – М.: Инновационное машиностроение, 2017. – 224 с.

8. Евсюков, С.А., Небогов, С.М., Алимов, А.И. Ультразвуковое упрочнение резьбы насосно-компрессорных труб // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2018. – Т.14. – № 11. – С. 505-508.

9. V.A. Demin, S.N. Larin, R.V. Riskin, A.A. Rizkova. Study the influence of anisotropy on the drawing cylindrical part// CIS Iron and Steel Review. — Vol. 16 (2018), pp. 25–28.

### REFERENCES

1. Anuriev, V.I. Reference Book of Designer-Engineering Worker. – Vol. – М.: Mechanical Engineering, 1979. – pp. 728.

2. Romanovsky, V.P. Reference Book on Cold Forming. – L.: Mechanical Engineering, 1979. – pp. 520.

3. Reference Book of Die Designer: Sheet Stamping / under the general editorship of L.I. Rudman. – М.: Mechanical Engineering, 1988. – pp. 496.

4. Iliyn, L.N., Semyonov, I.E. Technology of Sheet Stamping: college textbook. – М.: Drofа, 2009. – pp. 475.

5. Demin, V.A. Choice of 08 steel grade characteristics for sheet stamping // Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering. – 2019. – No.3 (93). – pp. 3-7.

6. Demin, V.A., Badulin, D.N. Impact of blank characteristics deviations upon computation results of metal pressure forming // Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering. – 2015. – No.12 (54). – pp. 41-44.

7. Lavrinenko, Yu.A. High-load compression spring manufacturing. – М.: Innovation Mechanical Engineering, 2017. – pp. 224.

8. Yevsyukov, S.A., Nebogov, S.M., Alimov, A.I. Thread ultrasonic strengthening in pump-compressor pipes // Strengthening Technologies and Coatings. - 2018. – Vol. 14. – No.11. – pp. 505-508.

9. V.A. Demin, S.N. Larin, R.V. Riskin, A.A. Rizkova. Study the influence of anisotropy on the drawing cylindrical part// CIS Iron and Steel Review. — Vol. 16 (2018), pp. 25–28.

Рецензент д.т.н. А.В. Власов