

ПОВЫШЕНИЕ СТОЙКОСТИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ШТАМПОВ

Готлиб Б.М.¹, Сергеев Р.Ф.¹

¹ФГБОУ ВПО «Уральский государственный университет путей сообщения», Екатеринбург, Россия (620034, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66), gotlib@usurt.ru

Исследуется проблема повышения точности штамповок и стойкости штампов при производстве крупногабаритных штамповок из специальных сталей и сплавов на мощных вертикальных гидравлических прессах. Повышение точности штамповок достигается за счет профилирования рабочей поверхности штампа с последующим ее циклическим упрочнением путем создания в штампе определенного уровня остаточных напряжений, переводящих работу штампа из области упругопластических деформаций в область упругих деформаций. Приведены результаты циклического деформирования образцов из стали 5ХНМ пульсирующей растягивающей нагрузкой при температуре 500 °С и двух уровнях напряжений: 150 и 200 МПа, свидетельствующие о том, что после приложения 10...20 циклов нагружения образцы начинают деформироваться упруго. При повышении же температуры испытаний до 600 °С при напряжении 150 МПа упрочнение образцов из стали 5ХНМ вообще не наблюдалось. Предложена методика профилирования и циклического упрочнения рабочей поверхности штампа из стали 5ХНМ. Штамп был опробован в промышленных условиях на прессе усилием 300 МН при осадке дисков из стали Х15Н5Д2Т радиусом 300 мм. Пластическая деформация гравюры штампа после штамповки 50 дисков составила всего 1 мм.

Ключевые слова: крупногабаритный штамп, точность штамповки, стойкость штампа, профилирование и циклическое упрочнение рабочей поверхности штампа.

IMPROVEMENT OF LARGE-SIZED DIES DURABILITY

Gotlib B.M., Sergeev R.F.

Ural state university of railway transport, Ekaterinburg, Russia (620034, Ekaterinburg, Kolmogorova street, 66), gotlib@usurt.ru

A study on the precision of die forging of special steels and the durability of forming dies is presented for large-sized dies when forged on high-pressure vertical hydraulic presses. The precision is increased with a profiling of the die's pressure face followed by a cyclic hardening. The die is hardened by the induction of residual stress, which allows the die to operate within elastic deformation instead of elastic-plastic deformation. Two 5HNM steel samples were hardened by the cyclic tension forces of 150 and 200 MPa under the temperature of 500 °C. From 10 to 20 cycles were required for the samples to start showing elastic deformation. When the temperature was raised to 600 °C no hardening was observed under the stress of 150 MPa. A technique for profiling and cyclic hardening of dies produced of 5HNM steel is proposed. The die was tested on an industry-grade 300 MN press by upsetting 300 mm disks of H15N5D2T steel. The plastic deformation of the die bed contour amounted to 1 mm.

Keywords: Bulky die, die forging precision, durability of forming die, profiling and cyclic hardening of die's pressure face.

В аэрокосмической отрасли современного машиностроения для изготовления силовых элементов конструкций широко используются штамповки из титановых сплавов и специальных сталей, изготавливаемые на мощных современных гидравлических прессах. Основной задачей процесса штамповки является получение полуфабрикатов, максимально приближающихся по своим размерам к готовым деталям и имеющих повышенные эксплуатационные характеристики. Наибольшую погрешность по толщине штамповки вносит упругопластическая деформация рабочей поверхности штампа в связи с высокими удельными усилиями и температурами, возникающими на рабочей поверхности штампа. Экспериментальные данные, полученные при штамповке титановых сплавов с площадью

проекции $4000...5500 \text{ см}^2$, свидетельствуют, что в начале работы штампа погрешность, вносимая штампом, составляет $0,1...0,2 \text{ мм}$, а после изготовления партии из 170 штамповок величина погрешности достигает $6,5...10 \text{ мм}$, что приводит к повышению массы штамповки на $10...25 \text{ кг}$.

Приведенные данные свидетельствуют, что проблемы повышения точности штамповок и стойкости штампов имеют первостепенное значение при производстве крупногабаритных штамповок из штамповых сплавов и специальных сталей.

Цель исследования

Действие высоких температур и удельных усилий на рабочую поверхность штампа приводит к пластической деформации гравюры штампа и явлению кратковременной ползучести. В настоящее же время при аналитических расчетах деформации рабочей поверхности штампа принимается во внимание только его упругая составляющая. Очевидно, что проблема повышения точности штамповок тесно связана с повышением стойкости штампового инструмента. К числу возможных способов повышения точности штамповок относится профилирование рабочей поверхности штампа с последующим циклическим упрочнением поверхности путем создания в штампе определенного уровня остаточных напряжений.

Поэтому **целью настоящей работы** является исследование методов профилирования и упрочнения рабочей поверхности штампа для повышения точности крупногабаритных штамповок из труднодеформируемых сталей и сплавов на мощных гидравлических прессах.

Методы исследования

Профилирование и последующее упрочнение гравюры штампа выполняли с целью повышения точности штамповок по толщине за счет перехода штампа из работы в области упругопластических деформаций в область только упругих деформаций. Физически такое «приспособление штампа» наступает за счет накопления остаточных напряжений в процессе упрочнения гравюры штампа. Таким образом, компенсационные уклоны на рабочей поверхности штампа назначались с учетом как пластической деформации штампа в процессе упрочнения, так и упругой — в процессе последующих рабочих нагружений.

На рис. 1 показан штамп с профилированной поверхностью.

Штамп 1 и выталкиватель 2 имеют профилированную рабочую поверхность с углом конусности φ .

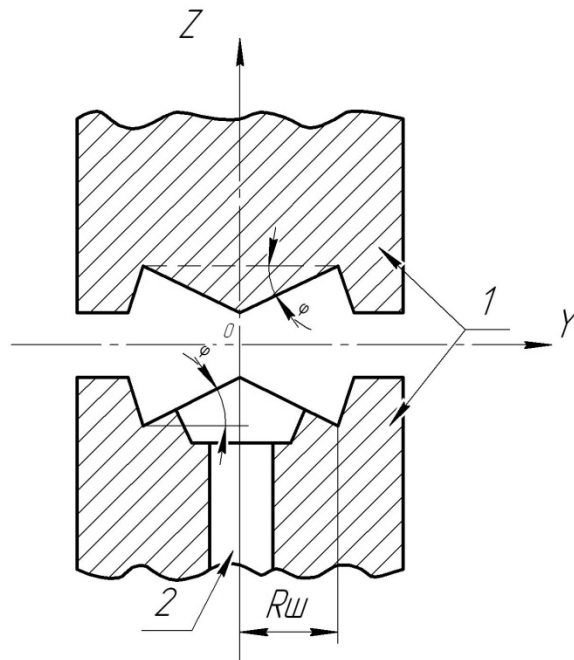


Рис. 1. Схема к расчету углов конусности:

1 – штамп; 2 – выталкиватель.

Угол конусности φ определяем по формуле:

$$\varphi = \arctg \frac{\delta_0 + \delta_1 + \delta_2}{R_{ш}},$$

где δ_0 - разность вертикальных упругих перемещений в точках $r=0$ и $r=R_{ш}$ на гравюре штампа;

δ_1 - пластическая составляющая вертикального перемещения в точке $r=0$ при однократном нагружении штампа;

δ_2 - пластическая составляющая вертикального перемещения в точке $r=0$ при циклическом нагружении штампа в процессе упрочнения.

Термопластические перемещения δ_1 точек рабочей поверхности штампа при однократном нагружении определяются из решения вариационного уравнения Лагранжа методом переменных параметров и упругости [5]. Упругие перемещения точек рабочей поверхности штампа δ_0 определяются, используя методы теории потенциала [3]. Для определения величины δ_2 используются изохронные кривые деформирования штамповых сталей при повышенных температурах, построенные известными методиками [4] по данным испытаний на кратковременную ползучесть при различных напряжениях [1; 2].

При профилировании штампов сложной конфигурации целесообразно разбивать их на части, имеющие форму круга, прямоугольника, треугольника и т.д. Затем для каждой части

штампа необходимо определить напряженно-деформированное состояние рабочей поверхности под действием равномерно распределенной на этой части нагрузки. Для выявления эффекта циклического упрочнения штамповых сталей при переменном нагружении необходимо провести испытания на циклическое нагружение пульсирующей нагрузкой.

Следует отметить, что при назначении компенсационных углов необходимо учитывать действительную форму рабочей и опорной поверхностей штампа, которые могут отличаться от исходной вследствие деформации штампа вместе с подштамповыми плитами. Необходимо также учитывать упругое «проседание» площади нагружения рабочей поверхности штампа и упругую деформацию траверсы прессы.

Результаты исследования

На рис. 2, 3 приведены результаты циклического деформирования образцов из штамповой стали 5ХНМ при нагружении пульсирующей растягивающей нагрузкой. Испытания проводили при температуре 500 °С и двух уровнях напряжений – 150 и 200 МПа (для наглядности часть промежуточных циклов не показана). Максимальное количество циклов нагружения - 20. Результаты испытаний свидетельствуют, что после приложения 10...20 циклов нагружения образцы начинали деформироваться упруго. При повышении же температуры испытаний до 600 °С при напряжении 150 МПа упрочнение образцов из стали 5ХНМ вообще не наблюдалось (от цикла к циклу шло накопление пластической деформации).

Из опытов по циклическому деформированию стали 5ХНМ при температурах 450...500 °С следует, что упрочнение наступает после 10...15 циклов нагружения при величине интенсивности напряжений $\delta_j=150...250$ МПа и при длительности каждого нагружения 5...15 с. Эти условия малоциклового деформации наиболее полным образом моделируют условия штамповки в крупногабаритных штампах. Увеличение же длительности нагружения выше 15 с приводит к появлению кратковременной ползучести, которая снижает уровень остаточных напряжений в объеме штампа.

Циклическое нагружение штампа удобнее всего проводить специально изготовленной заготовкой из жаропрочного сплава типа ЖС6-К, плотно прилегающей к рабочей поверхности штампа и нагретой до температуры 700...800 °С. Затем после корректировки гравюры штампа согласно полученной расчетной конфигурации необходимо провести несколько рабочих нагружений в начале работы штампа. После каждого нагружения следует проверять профиль гравюры штампа и конфигурацию полученного изделия.

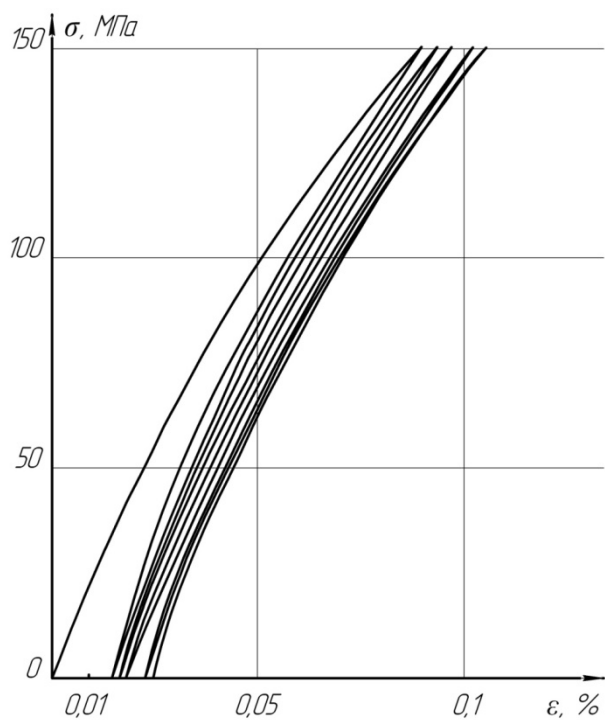


Рис. 2. График циклического деформирования образцов из штамповой стали 5ХНМ при нагружении пульсирующей растягивающей нагрузкой при температуре 500 °С и напряжении 150 МПа.

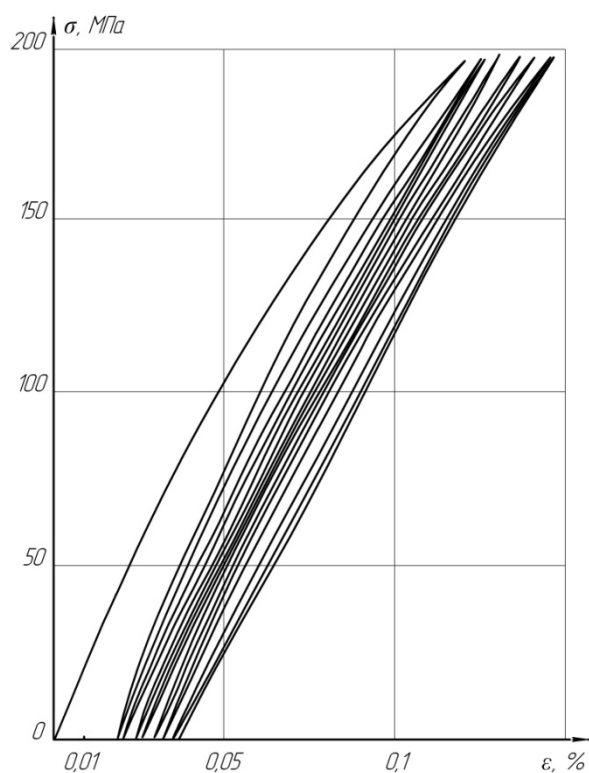


Рис. 3. График циклического деформирования образцов из штамповой стали 5ХНМ при нагружении пульсирующей растягивающей нагрузкой при температуре 500 °С и напряжении 200 МПа.

Описанным выше способом был изготовлен штамп для осадки дисков из стали X15H5Д2Т радиусом 300 мм. При расчете компенсационного угла конусности φ использовали кривые деформирования штамповой стали 5ХНМ [4]. При расчетной нагрузке 200 МПа упругая составляющая на границе штампа ($r=R_{III}$) равнялась 1,46 мм, а в центре ($r=0$) – 2,184 мм. Таким образом, разность между ними $\delta_0=2,184-1,46=0,784$ мм. Пластическая составляющая вертикального перемещения в центре штампа ($r=0$) $\delta_1=0,156$ мм. Суммарное пластическое перемещение в центральной точке после циклических нагружений составило $\delta_2 = 0,22$ мм.

Исходя из этих данных был рассчитан угол компенсационного уклона:

$$\varphi = \arctg \frac{0,784 + 0,156 + 0,22}{300} = 0.00367.$$

Тренировку штампа проводили на прессе усилием 300 МН. Всего было осуществлено 12 циклов нагружения при интенсивности нагружений $\sigma_1 = 200$ МПа с длительностью каждого нагружения 10 с. После тренировки штампа гравюру штампа корректировали до номинальных размеров.

В результате при штамповке дисков в штампе, прошедшем предварительную тренировку (упрочнение), удалось снизить толщину полотна диска на 20 мм, стойкость же штампа повысилась до 220 штамповок (вместо 176 по существующему способу). Пластическая деформация гравюры штампа после штамповки 50 дисков из стали X15H5Д2Т составила всего 1 мм.

Обсуждение результатов

Описанный выше способ повышения стойкости крупногабаритных штампов эффективен при производстве крупногабаритных штамповок типа лонжеронов, шпангоутов, дисков из высокопрочных сталей и сплавов, где трудно осуществлять иные способы упрочнения штампов.

Правильно выбранные углы компенсационных уклонов с последующим упрочнением рабочей поверхности штампа позволяют снизить вес полученных изделий за счет снижения припуска на последующую механическую обработку.

Кроме того, удалось снизить расход дорогостоящего штампового инструмента, доля которого в себестоимости крупногабаритных штамповок из высокопрочных сталей и сплавов составляет 20...40%.

Снижение припусков на механическую обработку штамповок позволило сократить расход твердых сплавов для изготовления режущего инструмента.

Выводы

1. Показано, что повышение точности штамповок и стойкость штампов имеют первостепенное значение при производстве крупногабаритных изделий из титана и специальных сталей.

2. Исследованы методы профилирования и упрочнения рабочей поверхности штампа с целью повышения точности штамповок и стойкости крупногабаритных штампов.

3. Экспериментально исследованы условия эффективного циклического упрочнения штамповой стали 5ХНМ.

4. Предложена методика циклического упрочнения крупногабаритных штампов.

5. Приведен пример применения штампа с профилированной и упрочненной рабочей поверхностью для штамповки диска радиусом 300 мм из стали X15H5Д2Т.

Список литературы

1. Готлиб Б.М., Добычин И.А., Готлиб М.Б. Автоматизированные кузнечно-прессовые комплексы (опыт создания и эксплуатации). – Екатеринбург : Изд-во Уральской государственной академии путей сообщения, 1998. – 647 с.

2. Готлиб Б.М., Сергеев Р.Ф., Вакалюк А.А. Механические свойства штамповых сталей // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6.

3. Лурье А.И. Пространственные задачи теории упругости. – М. – Л. : Гостехиздат, 1955. – 256 с.

4. Работнов Ю.Н., Милейко С.Г. Кратковременная ползучесть. – М. : Наука, 1970. – 224 с.

5. Шевченко Ю.Н., Бабешко М.Е., Пискунов В.В. и др. Пространственные задачи термопластичности. – Киев : Наукова думка, 1980. – 224 с.

Рецензенты:

Гребенников В.И., д.ф.-м.н., профессор, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт физики металлов Уральского отделения Российской академии наук», г. Екатеринбург;

Нестеров В.Л., д.т.н., профессор, академик РАН, директор Центра стратегического развития, профессор кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте» ФГОУ ВПО «Уральский государственный университет путей сообщения» (Федеральное агентство железнодорожного транспорта), г. Екатеринбург.