

КУЗНЕЧНО-ШТАМПОВОЧНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ КУЗНЕЧНО-ШТАМПОВОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

УДК 621.7.016.3.002

Е.А. КУЗЬМЕНКО, канд. техн. наук, доцент, НТУ «ХПИ»

В.И. КУЗЬМЕНКО, канд. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»

В.А. БОРИСОВСКАЯ, аспирант, НТУ «ХПИ»

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ХОЛОДНОЙ ОБЪЁМНОЙ ШТАМПОВКИ С УЧЁТОМ КАЧЕСТВА ЗАГОТОВОК

Предложены рекомендации по выбору марки стали для деталей, получаемых холодной объёмной штамповкой (ХОШ), режимов межоперационной разупрочняющей и окончательной упрочняющей обработок с учетом влияния неоднородности деформации по объёму изделия, которая зависит от параметров исходных заготовок и переходов технологического процесса ХОШ.

Запропоновані рекомендації з вибору марок сталей для деталей, що одержують холодним об'ємним штампуванням (ХОШ), режимів обробок для пом'якшення між операціями й остаточного зміцнення з урахуванням впливу неоднорідності деформації по об'єму виробу, яка залежить від параметрів вихідних заготовок і переходів технологічного процесу ХОШ.

There are the recommendations on a choice of steel grade for stamping workpiece, procedure of intermediate softening and final strengthening treatments with taking into account influence of nonuniformity of deformation on volume of articles, which depends on the parameters of initial workpiece and transitions of technological process of cold volume stamping.

Известно, что внедрение процессов холодной объёмной штамповки и, в частности, холодного выдавливания, взамен обработки резанием и горячей штамповки повышает коэффициент использования металла с 0,4–0,6 до 0,7–0,9. Детали, получаемые ХОШ, отличаются точностью размеров (до 8-го качества) и высоким качеством поверхности (шероховатость не превышает 16–32 мкм).

Эффективность внедрения и технологические возможности процессов ХОШ стальных изделий определяются стойкостью деформирующего инструмента (пуансонов, матриц, выталкивателей), которая, в свою очередь, зависит от штампуемости материала заготовки.

Стали, рекомендуемые для изготовления методами ХОШ, можно разделить на две группы [1]. К первой следует отнести малоуглеродистые и низколегированные стали с невысокой твердостью и относительно низким сопротивлением деформированию (10, 15, 20, 15X, 20X, 18ХГТ и др.), ко второй – среднеуглеродистые и легированные стали повышенной твердости с высоким сопротивлением деформированию (30, 40, 45, 30X, 40X, 40ХН, 12Х2Н4МА и др.). Для изготовления ответственных деталей выбирают стали второй группы, однако из-за их высокого сопротивления деформированию при холодном выдавливании напряжения в инструменте составляют 2,2–2,5 ГПа и приближаются к предельно

допустимым даже для самых прочных инструментальных сталей. Чтобы не допустить разрушения формообразующего инструмента, степени деформации за один переход ограничивают 40–55%, а количество переходов увеличивают. Между переходами проводят межоперационную смягчающую термическую обработку, после которой каждый раз требуется повторная подготовка поверхности к деформированию (очистка от окалина, обезжиривание, травление, промывка, фосфатирование и т.д.). Трудоемкость такого технологического процесса резко возрастает, а экономическая эффективность снижается.

Преимущества процесса ХОШ наиболее полно реализуется при использовании малоуглеродистых низколегированных сталей. В этом случае за один переход допускаются деформации до 70–85%, а нагрузки на инструмент значительно ниже 2ГПа. При этом количество переходов, межоперационных термических обработок и повторных подготовок поверхности к последующему деформированию снижается.

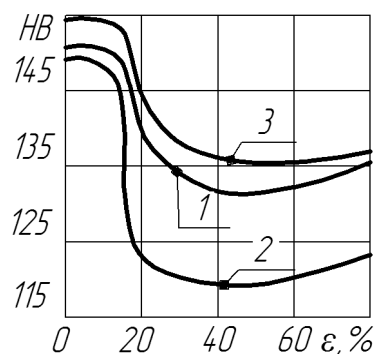
Разработка процессов ХОШ неразрывно связано с нагревом холоднодеформированных заготовок при межоперационном смягчающем отжиге и окончательной упрочняющей обработке.

Смягчающая термическая обработка деформированных заготовок

Технологические возможности процессов ХОШ можно расширить, если выбрать рациональный режим межоперационной смягчающей термической обработки, которая должна обеспечить формирование структуры с размером ферритного зерна 6-7 баллов и зернистыми карбидами, обладающей наилучшей штампуемостью. Такая структура формируется в деформированном металле в процессе рекристаллизационного отжига в субкритическом интервале температур (ниже точки A_{c1}).

Как правило, при назначении режимов отжига не учитывают неоднородность деформированного состояния заготовок, получаемых ХОШ, и наличие участков с сильно отличающимися степенями деформации. Например, в заготовке тормозной втулки велосипеда, полученной высадкой на холодно - высадочных автоматах, при средней степени деформации 45% есть области, в которых локальная деформация близка к критической (около 20%), и области, в которых локальная деформация превышает 80%.

Степень деформации влияет на процессы, протекающие в холоднодеформированной стали при нагреве. После деформации с докритическими степенями (менее 20%) нагрев в субкритическом интервале температур (ниже точки A_{c1}) приводит к стабилизирующей полигонизации, подавляющей рекристаллизацию феррита, и сталь сохраняет высокую твердость – на уровне деформированного металла (рис. 1, кривая 1). Нагрев стали, деформированной со степенью 20% и более, вызывает рекристаллизацию, которая сопровождается разупрочнением металла. Чем выше степень деформации, тем интенсивнее идут процессы рекристаллизации феррита и сфероидизации карбидов.



1, 2 – скорость нагрева 1–2°С/мин;
3 – скорость нагрева 100°С/мин

Рисунок 1 – Твердость стали 15Х, деформированной с разными степенями деформации, после отжига в течение 1,5 ч при температуре 720 (кривая 1) и 745°С (кривые 2 и 3)

С целью дополнительного разупрочнения заготовок и получения более однородной структуры зернистого перлита исследована возможность повышения температуры рекристаллизационного отжига несколько выше критической точки A_{c1} [2]. Установлено влияние скоростей нагрева в интервале 1–100°С/мин (типичных для практики термической обработки заготовок) на вид продуктов распада аустенита, образовавшегося вблизи т. A_{c1} , и на свойства стали.

После нагрева со скоростями 1–2°С/мин (нагрев садки с печью) до температур т. A_{c1} –т. $A_{c1}+(10–15)°C$ и последующего охлаждения с печью или на воздухе структура стали, деформированной со степенью 20–80%, представляет собой зерна феррита и зернистые карбиды, при этом твердость стали существенно снижается (см. рис. 1, кривая 2). После ускоренного нагрева (при загрузке садки в нагретую печь) и такого же охлаждения в структуре стали появляются участки пластинчатого сорбита и троостита, что вызывает некоторое повышение её твердости (см. рис. 1, кривая 3).

После докритических степеней деформации даже при повышении температуры рекристаллизационного отжига выше точки A_{c1} снижения твердости не наблюдается (см. рис. 1, левая часть кривой). Разупрочнить такую сталь можно только полным отжигом при температурах выше точки A_{c3} , который приводит к формированию пластинчатых карбидов с более высоким сопротивлением последующему деформированию, чем у зернистых карбидов. Более заметно влияние формы карбидов проявляется в среднеуглеродистой стали, имеющей в структуре до 50% перлита.

Однако и в малоуглеродистой стали форма карбидов влияет на штампуемость. На рис. 2 видно, что при одинаковой твердости (125 НВ) кривые упрочнения стали 15Х с зернистыми карбидами лежат ниже, чем кривые упрочнения той же стали с пластинчатыми карбидами. Следовательно, нагрузки на штамповый инструмент зависят от формы карбидов даже при небольшом количестве перлита в структуре материала заготовки. Известно [3], что при холодном обратном выдавливании снижение напряжения текучести материала деформируемой заготовки всего на 10–15% может повысить стойкость инструмента в 1,5–2,0 раза, поэтому следует обратить внимание на этот резерв повышения стойкости штампов.

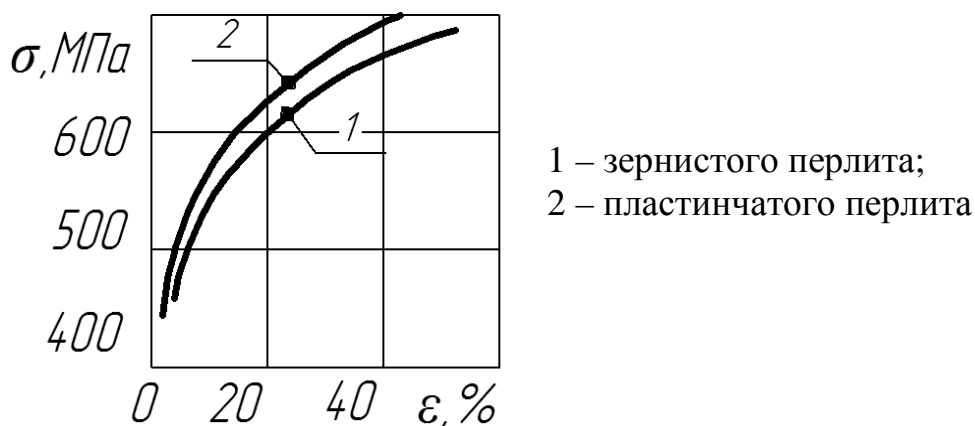


Рисунок 2 – Диаграмма истинных напряжений, построенная при осадке образцов из стали 15X со структурой:

Полученные данные имеют практическое значение при разработке технологических процессов холодного выдавливания. Для обеспечения равномерности деформации по сечению заготовок, одинаковой низкой твердости после межоперационного смягчающего нагрева и хорошей последующей штампуемости следует рассчитывать переходы таким образом, чтобы в сечении изделий из малоуглеродистых низколегированных сталей локальная деформация превышала 20%.

На степень неоднородности деформации в объеме холоднодеформированных заготовок влияют такие факторы, как геометрические параметры и форма исходной заготовки, а также технология её получения (резанием, рубкой, высадкой, редуцированием, осадкой в открытых или закрытых штампах, локальным деформированием и др.). Правильный выбор исходной заготовки позволяет также создать наиболее благоприятные условия для течения металла в процессе её деформирования [4].

При холодном выдавливании среднеуглеродистых сталей допустимые деформации за переход ограничены, поэтому избежать докритических степеней деформации практически невозможно. Это сдерживает внедрение холодного выдавливания сталей повышенной прочности.

Упрочняющая обработка заготовок

Для малоуглеродистых сталей существенной является проблема обеспечения эксплуатационных свойств готовых изделий. Следует учитывать два важных обстоятельства. Во-первых, твердость стали в результате ХОШ резко возрастает (рис. 3, кривая 1). При этом твердость малоуглеродистой стали может даже превысить твердость среднеуглеродистой стали в состоянии поставки (170–220 НВ). Во-вторых, качество изделий, помимо прочностных свойств, определяется показателями пластичности и вязкости. Последнее приобретает особо важное значение при низких температурах, когда эти показатели существенно снижаются по мере повышения содержания углерода в стали. Так, каждая десятая доля процента содержания углерода превышает верхнюю границу порога хладноломкости примерно на 20°C [5].

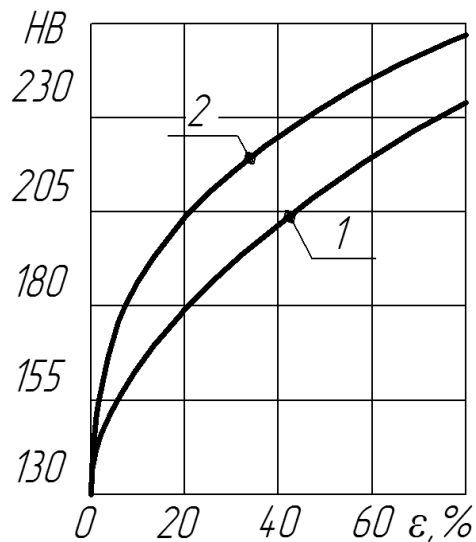


Рисунок 3 – Зависимость твердости стали 15X от степени деформации
1 – без нагрева; 2 – после нагрева до 400°C

Для неответственных деталей, которые не подвергаются окончательной упрочняющей термической обработке, можно рекомендовать взамен среднеуглеродистых сталей, обрабатываемых резанием, холодное выдавливание малоуглеродистых низколегированных сталей. При этом не только повысится технико-экономическая эффективность производства, но и будет достигнут высокий комплекс свойств в готовых изделиях.

Для малоуглеродистых холоднодеформированных сталей дополнительно повысить твердость на 15–20 единиц HV можно путем дорекристаллизационного нагрева до температур 400–450°C (рис. 3, кривая 2). Наблюдающееся упрочнение объясняется перестройкой дислокационных конфигураций на стадии возврата и закреплением их атомами внедрения. В этом случае детали, полученные холодным выдавливанием, можно эксплуатировать при температурах до 450°C без снижения прочностных характеристик.

Если же в процессе ХОШ не достигается уровень твердости, заданный техническими условиями, необходимо предусмотреть окончательную термическую обработку. Как правило, для малоуглеродистых сталей назначают цементацию или нитроцементацию. Закалку малоуглеродистых сталей в заводской практике обычно не применяют, так как традиционно их относят к «незакаливающимся». Однако разделение на «закаливающиеся» и «незакаливающиеся» стали условно. Даже в чистом железе мартенситное превращение приводит к повышению прочности в 3–4 раза (по сравнению с прочностью железа в отожженном состоянии). В ряде случаев это может быть использовано как резерв повышения эксплуатационных свойств деталей без таких длительных, трудоемких и требующих специального оборудования операций, как цементация и нитроцементация.

Так, например, закалка стали 15X повышает ее твердость до 38HRC₃, стали 20X – до 43HRC₃. После предварительной деформации на 60–80% твердость HRC₃ закаленной стали дополнительно повышается на 2–3 единицы (рис. 4).

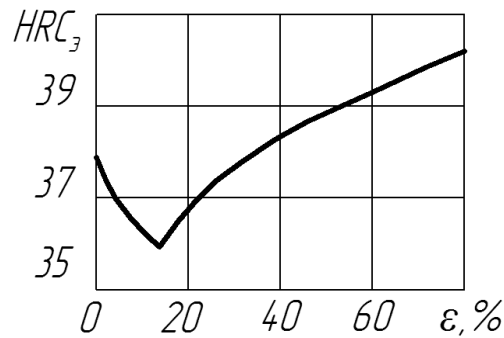


Рисунок 4 – Влияние степени деформации на твердость стали 15X, закаленной с 850°C

Это ниже, чем у закаленных среднеуглеродистых сталей. Последние относятся к «улучшаемым», поэтому для снятия микронапряжений закалённые среднеуглеродистые стали обязательно подвергаются отпуску при температуре 400–500°C, что приводит к заметному снижению твердости. В малоуглеродистых закалённых сталях для снятия микронапряжений достаточно низкого отпуска при 180–220°C, который практически не снижает твердость.

Упрочнённые закалкой малоуглеродистые стали можно с успехом использовать и для изготовления ответственных деталей. Полученные результаты использованы при разработке технологического процесса холодного выдавливания сменных головок накидных ключей из стали 20X (взамен стали 40X, из которой заготовки получали ранее полугорячим выдавливанием). При испытаниях головки из стали 20X выдержали крутящий момент, почти вдвое превышающий требования технических условий.

Таким образом, применение холодной объемной штамповки для изготовления как неответственных, так и ответственных деталей из малоуглеродистых низколегированных сталей позволяет более полно реализовать все технико-экономические преимущества процесса и одновременно повысить служебные характеристики материала.

Список литературы: 1. Холодная объемная штамповка: Справочник /Под ред. Г. А. Навроцкого. – М.: Машиностроение, 1973. – 496 с. 2. Дьяченко С.С., Кузьменко Е. А., Поляничка А. И. Разработка режима смягчающего отжига неоднородно деформированных заготовок //МиТОМ, 1989, №6. – С. 6-9. 3. Евстратов В. А., Иванов О. М., Кузьменко В. И. и др. Оптимизация технологических процессов и конструкций штампов для холодного и полугорячего выдавливания. М.: ВНИИТЭМР. 1989. 192 с. 4. Евстратов В. О., Підгірна В. О. Аналіз виготовлення низьких заготовок для процесу видавлювання //Обробка матеріалів тиском. –Зб. наук. пр. – Краматорськ: ДДМА, 2008. – №1 (19). – С. 183-185. 5. Материаловедение: Учебник для вузов. 2-е изд. /Под общ. ред. Б. И. Арзамасова. М.: Машиностроение, 1986. – 384 с.