



The special attention in this article is dedicated to increase of complex of cast iron physical and chemical characteristics and quality of produced articles with the help of thermoplastic influence.

Л. Р. ДУДЕЦКАЯ, И. К. ДАНИЛЬЧИК, А. И. ПОКРОВСКИЙ, И. Н. ХРОЛЬ, ФТИ НАН Беларуси

УДК 669.13: 629.113.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЛИТЕЙНО-ДЕФОРМАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ЧУГУНА

Чугун занимает одно из ведущих мест среди современных конструкционных материалов, причем наблюдается устойчивая тенденция увеличения объемов использования его высококачественных марок. Это объясняется лучшими литейными и технологическими свойствами чугуна по сравнению со сталью, в том числе хорошей обрабатываемостью резанием. Чугун обладает некоторыми уникальными, присущими только ему особенностями. Наличие графитных включений обеспечивает хорошие антифрикционные свойства, способность быстро гасить вибрации и резонансные колебания, малую чувствительность к надрезам, меньший, чем у стали удельный вес, повышенную теплопроводность. Все это обуславливает широкое применение чугуна для изготовления таких ответственных изделий, как блоки цилиндров, коленчатые и распределительные валы, поршневые компрессионные кольца. Тем не менее, чугун имеет существенный недостаток – пониженные механические характеристики.

Повышение уровня механических свойств чугуна может быть достигнуто за счет легирования, модифицирования, а также термической обработки, в частности, изотермической закалки, позволяющей достичь показателей прочности до 1000 МПа при относительном удлинении 2–10%. Дальнейшее повышение свойств чугуна тормозится невысоким и нестабильным качеством отливок, наличием литейных дефектов [1].

Технический прогресс требует поиска новых нестандартных способов формообразования деталей из чугуна и воздействия на их структуру. Существующий мировой опыт доказывает, что литье – не единственный способ формообразования изделий из чугуна и в определенных температурно-силовых интервалах этот материал удается пластически деформировать [2]. Однако придание изделию требуемой формы не является основной задачей данного исследования. В настоящей статье особое внимание уделено повышению комплекса физико-механических характеристик чугуна и качества изготавливаемых из него изделий при помощи термопластического воздействия.

Традиционная классификация материалов на стали и чугуны, основанная на количественном содержании в них углерода, предполагает, что пластическая деформация применима только для сплавов, содержащих менее 2% углерода. Вместе с тем, после известного опыта Карно, успешно деформировавшего даже такой хрупкий материал, как мрамор, принципиальная возможность обработки давлением чугуна не вызвала у исследователей сомнений. Однако было очевидно, что для деформации чугуна потребуются высокие температуры, специальные технологические приемы и оснастка. С середины прошлого века были постепенно опробованы различные способы деформирования чугуна. К сожалению, проведенные исследования носили несистематический характер, касались только определенных составов, одного типа чугунов или конкретной схемы деформации. Кроме того, в этих работах речь шла не о промышленных партиях изделий, а лишь об экспериментальных образцах.

Более полные исследования деформируемости различных классов чугунов были выполнены в Физико-техническом институте НАН Беларуси. Начиная с 1990 г. эти работы проводили в лаборатории точной штамповки и металловедения. В данной статье рассмотрен один из аспектов исследований, касающийся разработки параметров деформационной технологии, применительно к машиностроительным изделиям.

Более полные исследования деформируемости различных классов чугунов были выполнены в Физико-техническом институте НАН Беларуси. Начиная с 1990 г. эти работы проводили в лаборатории точной штамповки и металловедения. В данной статье рассмотрен один из аспектов исследований, касающийся разработки параметров деформационной технологии, применительно к машиностроительным изделиям.

Цель работы – исследование технологических параметров деформационной обработки и создание на этой основе литейно-деформационной технологии получения высококачественных изделий из чугуна.

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ И МЕТОДИКА ДЕФОРМИРОВАНИЯ

Для исследования были выбраны доэвтектические сплавы четырех классов чугунов: серого, половинчатого, ковкого и высокопрочного. Химический состав чугунов приведен в табл. 1.

Микроструктура исследуемых чугунов показана на рис. 1.

Из серых чугунов выбрали материал, близкий по свойствам к чугуну одной из самых распространенных марок СЧ25 с небольшими добавками никеля. Этот же чугун при дополнительном легировании хромом и марганцем приобретает половинчатую структуру, когда наряду с графитом

кристаллизуется цементитная эвтектика. Состав чугуна подобрали таким образом, чтобы получить в структуре 20–30% карбидной фазы, обеспечивающей повышенную износостойкость.

Из ковких чугунов выбрали близкий к КЧ, серийно используемому для автомобильных отливок. Для получения в исходном состоянии перлитной структуры чугуны легировали марганцем.

Представителем высокопрочных чугунов являлся ВЧ45 с феррито-перлитной основой, легированный никелем. Данный материал после деформации использовали для изготовления ответственных деталей типа шестерен и уплотнительных колец.

Горячую пластическую деформацию проводили на прессе методом выдавливания в условиях неравномерного всестороннего сжатия. Нагретую в индукторе до высоких температур (около 1000°C) заготовку помещали в подогретый штамп (рис. 2, а) и пуансоном через отверстие матрицы выдавлива-

Таблица 1. Химический состав исследуемых чугунов, мас. %

| Тип чугуна | C | Si | Mn | Cr | Ni | Mg | P | S |
|---------------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|---------|---------|
| Серый | 3,2–3,6 | 1,4–1,8 | 0,7–0,9 | – | 0,2–0,4 | – | до 0,1 | до 0,04 |
| Половинчатый | 3,2–3,6 | 1,4–1,8 | 1,1–1,3 | 0,6–0,8 | 0,2–0,4 | – | до 0,1 | до 0,04 |
| Ковкий | 2,4–2,8 | 1,1–1,5 | 0,7–0,9 | – | – | – | до 0,1 | до 0,05 |
| Высокопрочный | 3,2–3,6 | 1,7–2,1 | 0,5–0,7 | – | 0,4–0,6 | 0,04–0,06 | до 0,08 | до 0,01 |

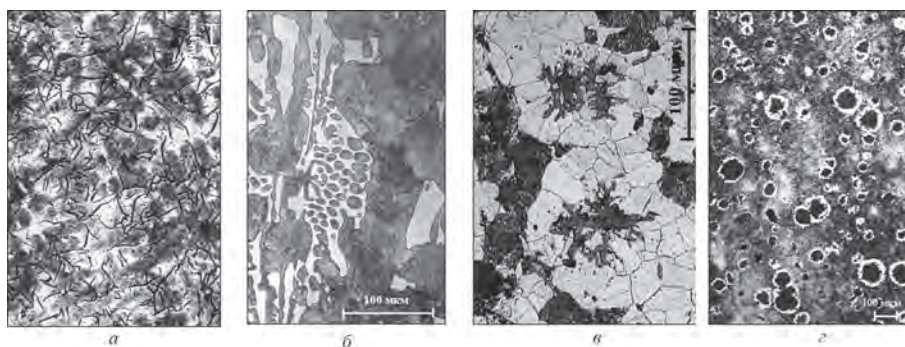


Рис. 1. Микроструктура исследуемых чугунов в литом состоянии: а – серый; б – половинчатый; в – ковкий; з – высокопрочный

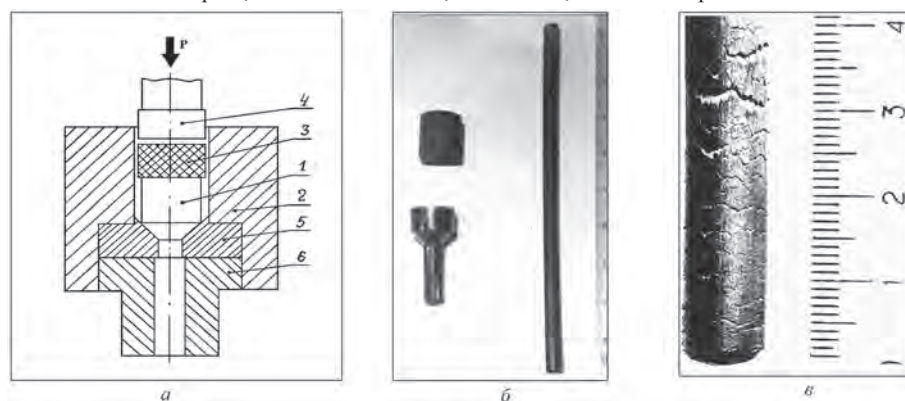


Рис. 2. Принципиальная схема выдавливания (а): 1 – чугунная заготовка; 2–6 – детали штамповой оснастки; стадии выдавливания (б): исходная заготовка, пруток с пресс-остатком и пруток, выдавленный на проход; возможные дефекты прутка при нарушении температурного режима выдавливания (в)

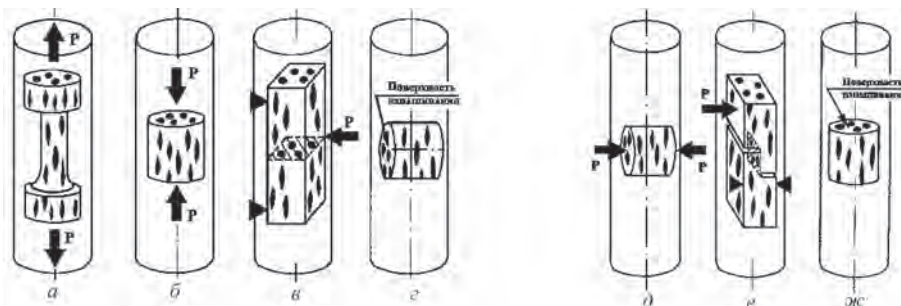


Рис. 3. Схема вырезки образцов для механических испытаний: а – растяжение; б, д – сжатие; в, е – ударная вязкость; г, ж – износоустойчивость

ли прутки со степенью деформации от 20 до 80% (рис. 2, б). Из прутков вырезали образцы для исследований, сориентированные вдоль и поперек направления деформации (рис. 3).

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПЛАСТИЧНОСТИ ЧУГУНА В ГОРЯЧЕМ СОСТОЯНИИ И ПУТИ ЕЕ ПОВЫШЕНИЯ

Были проведены комплексные исследования пластичности чугунов в области температур 20–1150 °С при растяжении, сжатии и кручении и установлено, что зависимости пластичности от температуры при различных видах испытаний аналогичны и описываются кривыми с максимумом (рис. 4). Рост пластичности выше точки A_{c1} можно объяснить образованием мелких (8–10 мкм) аустенитных зерен [3], а падение по достижении температуры 1100–1150 °С – интенсивным ростом зерен и оплавлением их границ. Как видно из рис. 5, различие в значениях пластичности чугунов определяется главным образом формой и степенью компактности графитных включений, т. е. чем в большей степени графитное включение приближено к форме шара, тем более пластичным является чугун.

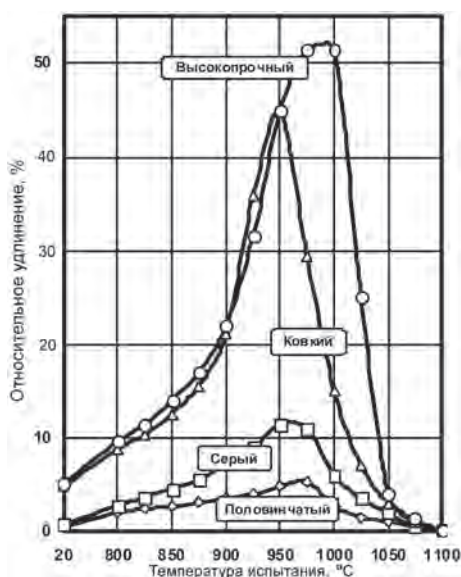


Рис. 4. Зависимость относительного удлинения чугунов от температуры. Испытания на растяжение

Из всех типов чугунов наиболее технологичным при проведении деформирования материалом показал себя высокопрочный чугун [4]. Однако даже у него оказался довольно узкий температурный интервал деформирования – всего около 100 °С (для сравнения аналогичный интервал у сталей составляет 300–500 °С).

Исследования по расширению температурного интервала деформирования и повышению показателей пластичности проводили по двум направлениям. Первое направление – предварительная термическая и термоциклическая обработка заготовки, примеры воздействия которой на пластичность приведены на рис. 6, 7. Как видно из рисунков, ряд режимов позволяет повысить абсолютные значения пластичности до 50%. Второе направление – корректировка химического состава чугуна путем подбора сочетания недорогих легирующих элементов. Были выработаны общие требования к структуре металлической матрицы чугуна, основывающиеся на определенном сочетании в ней различных фаз, которые обеспечивают повышенную пластичность в горячем состоянии. На основе такого подхода была

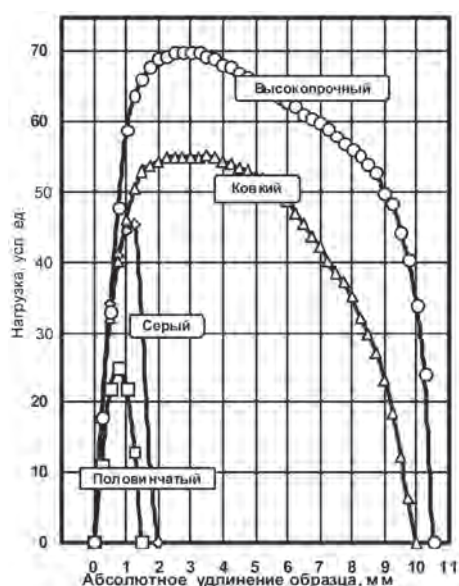


Рис. 5. Характерные диаграммы растяжения чугунов (запись с диаграммной ленты). Температура испытаний 950 °С

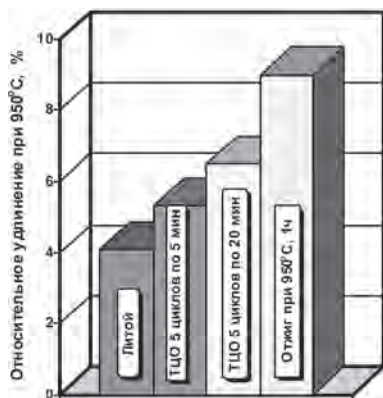


Рис. 6. Пластичность одного из чугунов после различных видов предварительной термической обработки

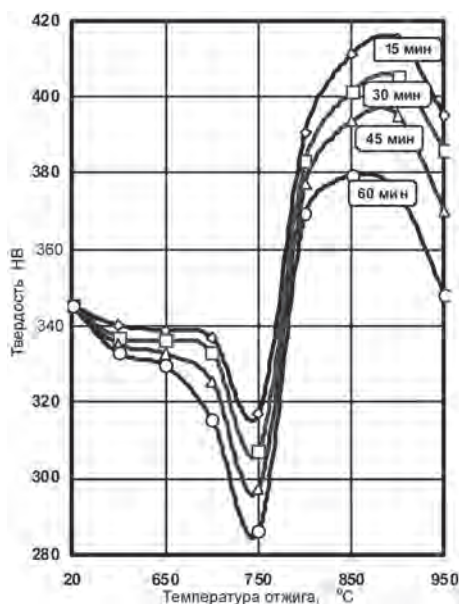


Рис. 7. Зависимость твердости одного из чугунов от параметров термической обработки

предложена группа составов чугунов с повышенной до 1,5 раз деформируемостью.

В результате экспериментов выбрали оптимальную схему деформирования, обеспечивающую целостность поверхности и качество получаемых образцов, – неравномерное всестороннее сжатие, реа-

лизуемое в процессах выдавливания или штамповки. Для этой схемы определены оптимальные температурно-силовые режимы деформации, позволяющие получать качественную деформированную заготовку без дефектов. Температурно-силовые режимы включали в себя такие параметры, как скорость выдавливания, усилие противодействия, скорость, выдержку и особенности нагрева различных марок чугунов, температуру подогрева штампа.

СВОЙСТВА ДЕФОРМИРОВАННОГО ЧУГУНА

Испытания механических свойств различных типов чугунов в деформированном состоянии зафиксировали одновременный рост прочности, пластичности и ударной вязкости в 1,2–1,9 раза (рис. 8, 9), что приближает по уровню свойств деформированные чугуны к уровню легированной стали.

В табл. 2 приведены результаты экспериментов, свидетельствующие о том, что при продольном расположении образцов относительно направления вытяжки происходит увеличение всего комплекса свойств деформированного чугуна, а при поперечном – свойства увеличиваются в меньшей степени, при ферритной основе происходит снижение.

На износостойкость чугуна в условиях сухого трения оказывает существенное влияние текстура деформации (рис. 10, 11). По сравнению с литым состоянием продольное расположение графитных включений в плоскости трения ухудшает износостойкость, а поперечное улучшает. С увеличением степени деформации эта закономерность усиливается. Перлитная структура чугуна как в литом, так и деформированном состоянии эффективнее противостоит износу, чем ферритная. Для получения максимальной износостойкости чугуна степень деформации $\epsilon = 80\%$ и последующее охлаждение на воздухе, причем вытянутые графитные включе-

Т а б л и ц а 2. Изменение свойств высокопрочного чугуна по сравнению с литым состоянием по мере увеличения степени деформации (ϵ) до 80%

| Структура металлической основы | Феррит | | Перлит | |
|--------------------------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------------|--------------------------|
| | Продольный | Поперечный | Продольный | Поперечный |
| Прочность | Увеличивается в 1,2 раза | Уменьшается в 1,7 раза | Увеличивается в 1,5–1,7 раза | Увеличивается в 1,4 раза |
| Относительное удлинение | Увеличивается в 1,2 раза | – | Увеличивается в 1,7–1,9 раза | – |
| Предельная деформация до появления трещины | Увеличивается в 1,1 раза | Уменьшается в 1,6 раза | Увеличивается в 1,5 раза | Увеличивается в 1,1 раза |
| Выносливость | – | – | Увеличивается в 1,5–1,9 раза | – |
| Ударная вязкость | Увеличивается в 1,2 раза | Уменьшается в 1,7 раза | Увеличивается в 1,5–1,6 раза | Увеличивается в 1,2 раза |



Рис. 8. Зависимость прочности одного из чугунов от степени деформации



Рис. 9. Зависимость ударной вязкости чугунов от степени деформации

ния должны располагаться поперек поверхности трения. Это повышает износостойкость в 1,4 раза по сравнению с исходным состоянием [5].

При испытаниях на трение со смазкой воздействие горячей пластической деформации улучшает триботехнические характеристики всех чугунов. Значения максимально допустимого давления, которое выдерживает деформированный чугун, повышаются в 1,3–1,4 раза. Наиболее эффективно воздействие деформации с $\epsilon = 50\%$ для высокопрочного чугуна. Его коэффициент трения составляет 0,021, а температура в зоне контакта не превышает 70 °С при нагрузке 30 МПа. Поэтому деформированный высокопрочный чугун рекомендуется для изготовления поршневых и уплотнительных колец двигателей и трансмиссий [6].

Установлено, что упрочнение чугуна, вызванное горячей пластической деформацией, можно не только сохранить, но и дополнительно увеличить,

применяя термическую обработку [7]. В структуре термически обработанного чугуна сохраняются особенности, характерные для деформированного. В частности, размеры фасеток на фрактограммах деформированного чугуна в 1,5–2,0 раза меньше, чем у литого, а доля пластичного и внутризеренного разрушения в изломе больше.

Закалка чугуна с температуры деформации приводит к образованию мартенсита, обладающего низкой прочностью и пластичностью, и без дополнительного отпуска неэффективна. Закалка с низким отпуском более приемлема и позволяет достичь предела прочности 1100 МПа, относительного удлинения – 2,5% при твердости 51 HRC. Нормализация деформированного чугуна приводит к образованию сорбитообразного перлита, наследующего структуру перлита деформированного чугуна [8]. Она обеспечивает прочность 1280 МПа, относительное удлинение 5,5% и твердость 40 HRC,

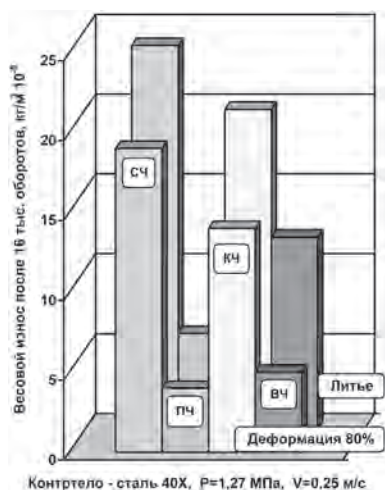


Рис. 10. Весовой износ чугунов при сухом трении. На переднем плане – деформированные с $\epsilon = 80\%$ образцы, на заднем плане – литые образцы

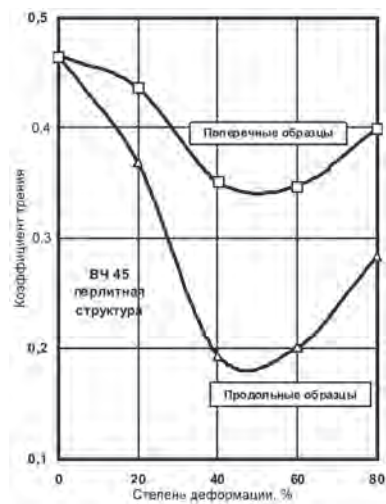


Рис. 11. Зависимость коэффициента трения от степени деформации. Сухое трение. Контроль – сталь 40X (50 HRC), $P = 1,27$ МПа, $V = 0,25$ м/с

что превышает показатели нормализованного литого чугуна.

Наибольшую эффективность из всех видов термической обработки деформированного чугуна показала изотермическая закалка в области температур 250–350 °С. Регулируя температуру, время изотермической выдержки и степень предварительной горячей деформации, удалось получить в структуре чугуна различное соотношение бейнита и остаточного аустенита. За счет этого у высокопрочного чугуна, легированного небольшими добавками (0,2–0,4 %) никеля и меди, значения прочности достигли 1550 МПа и относительного удлинения 9%.

Материал с таким сочетанием высокой прочности и пластичности в дальнейшем был опробован для изготовления деталей ответственного назначения.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ИЗДЕЛИЙ НЕСЛОЖНОЙ КОНФИГУРАЦИИ ИЗ ДЕФОРМИРОВАННОГО ЧУГУНА

Полученные экспериментальные данные были использованы для разработки опытно-промышленных технологий получения различных изделий из чугуна горячей деформацией. Промышленное опробование проходило в два этапа. Вначале получали опытные образцы и изделия несложной конфигурации. В сущности, изготовление данных деталей рассматривали как технологические пробы, подтверждающие эксперименты. После выбора оптимальной схемы деформации, наиболее технологичного материала и перспективного класса деталей-представителей вели разработку опытно-промышленной технологии, изготавливали опытные партии изделий, проводили их промышленные испытания.

Изготовление изделий типа шайб. Применительно к серому и высокопрочному чугуну опро-

бовали ранее никем не применявшийся процесс пробивки отверстий в горячем состоянии с использованием скоростного индукционного нагрева заготовки. Актуальность метода пробивки объясняется трудностями получения отверстий малых диаметров литьем из-за пригара стержней. На серийном кривошипно-шатунном прессе усилием 250 т из цилиндрических заготовок диаметром 30 мм и толщиной от 5 до 20 мм получали детали типа шайб (рис. 12). Пробивку осуществляли плоским пуансоном в вырубном штампе по технологии, отработанной на аналогичных изделиях из стали. Вырубка кругового сегмента у литого высокопрочного чугуна прошла удовлетворительно, а у серого чугуна при пробивке на торцевой поверхности возникали радиальные трещины. Для улучшения деформируемости чугун подвергали предварительной термической обработке, при которой происходила сфероидизация цементита, перлита, снятие внутренних напряжений и трещин в процессе деформации после этого не возникало.

Установлено, что на начальной стадии деформационного воздействия процесс пробивки сопровождается пластической деформацией вдоль кромок пробиваемого отверстия. Пластическое течение чугуна проявлялось в появлении на вырубной детали закругления небольшого радиуса, расположенного со стороны пуансона, в месте перехода от торца заготовки к поверхности среза. Внутренняя часть шайбы, образовавшаяся на стадии скола, имела поверхность с рисками и параметрами шероховатости Ra 40–80. Определены оптимальные температуры пробивки, при которых усилие пробивки минимально, а качество поверхности изделия наилучшее. Максимальная толщина пробиваемой заготовки составила 20 мм. На следующем этапе осуществляли прошивку предварительно деформированной цилиндрической заго-

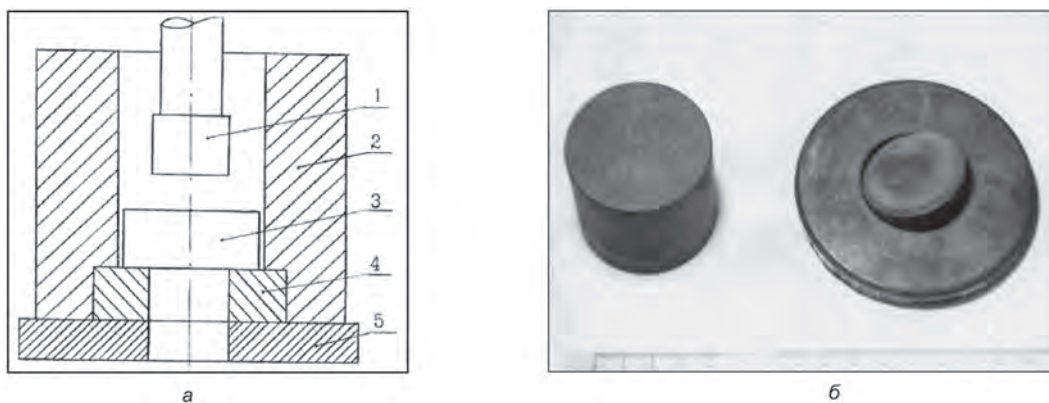


Рис. 12. Получение изделий из чугуна типа шайб горячей пробивкой: а – схема процесса; б – исходная заготовка (слева) и чугунная шайба, полученная осадкой с последующей пробивкой (справа): 1 – пуансон; 2 – контейнер; 3 – исходная заготовка; 4 – матрица для пробивки; 5 – опора

товки диаметром 50 мм и высотой 50 мм (рис. 12, б). Ее предварительно осаживали в закрытом штампе на кривошипно-шатунном прессе усилием 630 т со степенью деформации 65%.

Таким образом, было установлено, что чугун ведет себя при пробивке аналогично стали, но отличается более узким температурным интервалом деформации. Пробивку можно использовать с целью уменьшения объема механической обработки для получения отверстий малых диаметров в чугунных полуфабрикатах.

Изготовление изделий типа прутков. Из цилиндрической заготовки диаметром 28 мм выдавливали пруток в виде шестигранника под ключ 22, который использовали в качестве полуфабриката детали «цилиндр нагнетательного плунжера» автомобиля МАЗ. Схема выдавливания аналогична показанной на рис. 2, при этом степень деформации составляла 35%. Качество поверхности граней не требовало дополнительной механической обработки (рис. 13). В качестве материала использовали заготовки из серого и высокопрочного чугуна. Отличительной особенностью обеих марок чугунов оказался достаточно узкий температурный интервал деформации. Серый чугун показал особую чувствительность к перегреву; нагрев всего на 20–30 °С выше оптимальной температуры приводил к оплавлению границ зерен. При соблюдении температурного режима при выдавливании оба материала показали достаточную пластичность, не нуждались в предварительной термической обработке и деформировались без затруднения.

Из полученных чугунных шестигранников по действующей технологии изготовили детали «цилиндр нагнетательного плунжера». При механической обработке было отмечено, что деформированный чугун допускал большую скорость резания, чем сталь. Все чугунные детали полностью соответствовали требованиям нормативно-технической документации. Производственные испытания из-

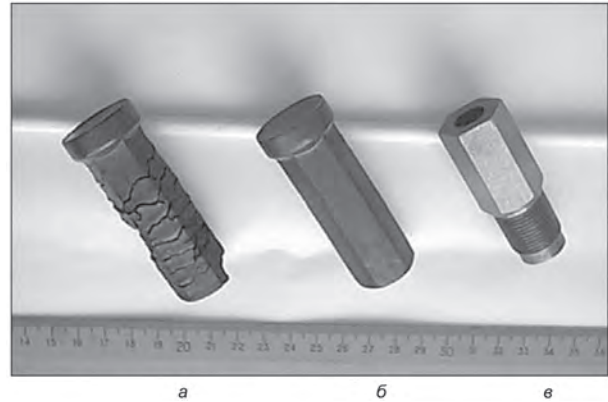


Рис. 13. Получение изделий из чугуна типа прутков горячим выдавливанием: а – шестигранный пруток, полученный с нарушением технологии; б – то же при оптимальной температуре; в – окончательно обработанная из прутка готовая деталь

делий провели по полному циклу, соответствующему гарантийной наработке. Замечаний по работоспособности и течи масла под давлением 600 атм не было. По результатам испытаний технология изготовления детали из деформированного высокопрочного чугуна взамен стальных изделий рекомендована к освоению в производстве.

Изготовление деталей типа втулок. Горячим выдавливанием чугуна получали полую заготовку детали «направляющая втулка клапана» двигателя Д-240 Минского моторного завода (рис. 14). Заводская технология предусматривала получение цилиндрической заготовки без отверстия и ее последующую механическую обработку. Материалом служил серый перлитный чугун. Интерес к получению полых втулки методами обработки давлением вызван тем, что из-за пригара стержней при литье было невозможно получить отверстие небольшим диаметром 10 мм, а сверление на достаточно большую глубину (85 мм) увеличивало расход инструмента. Для формообразования отверстия использовали пуансон с иглой, диаметр которой соответствовал отверстию во втулке. Выдавливание про-

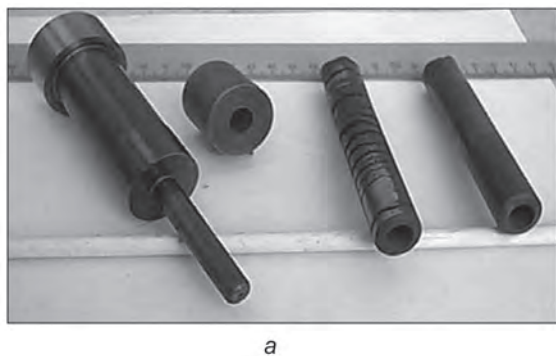


Рис. 14. Получение изделий из чугуна типа втулок горячим выдавливанием: а – инструмент для получения детали «направляющая втулка клапана», исходная заготовка, втулка с трещинами, качественная втулка; б – деталь «корпус сверлильного патрона» из чугуна, полученная выдавливанием за один проход из цельной цилиндрической заготовки

водили на серийном кривошипно-шатунном прессе усилием 100 т при степени деформации 70%.

Прямым выдавливанием удалось получить втулки только из высокопрочного чугуна. Для деформирования серого чугуна дополнительно использовали противодавление строго определенной величины 2–3 атм, что позволило получить качественные втулки. Преимущества изготовления данной детали выдавливанием: существенное повышение коэффициента использования металла (от 0,51 до 0,75) за счет снижения припусков, уменьшение объема механической обработки, уменьшение расхода сверл в 3 раза.

Наиболее эффективным примером грамотного выбора состава чугуна, параметров предварительной термической обработки и деформации является получение детали «корпус сверлильного патрона» методом обратного выдавливания за один проход (рис. 14, б). Хотя степень деформации в зоне стенок детали достигала 85%, пластичность чугуна оказалась достаточной для получения цельной заготовки и нарушений целостности металла не наблюдалось.

Изготовление изделий типа гильз. Совместно с лабораторией прокатки Московского института стали и сплавов производили поперечно-винтовой прокаткой-прошивкой раскатку полых чугунных заготовок до размеров гильз цилиндров. Вращающуюся заготовку подавали в клеть, где ее обжимали изнутри прошивкой, снаружи валками. В результате этого и внутренний, и наружный диаметр гильзы увеличивался. Схема процесса и результаты получения заготовок гильзы цилиндра двигателя внутренним диаметром 60 мм и наружным диаметром 75 мм приведены на рис. 15.

**ИЗГОТОВЛЕНИЕ ИЗДЕЛИЙ
ОТВЕТСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ
ИЗ ДЕФОРМИРОВАННОГО ЧУГУНА**

На основании выполненных экспериментальных исследований был разработан технологический процесс получения ответственных и тяжело нагружен-

ных изделий из чугуна с повышенными прочностными и эксплуатационными характеристиками. Он основан на горячем пластическом формообразовании литых заготовок. Технология включает в себя получение литой заготовки, предварительную термическую обработку для снижения твердости и повышения пластичности, механическую обработку, нагрев заготовки, горячую пластическую деформацию в специальной оснастке на серийном кузнечно-штамповочном оборудовании, окончательную термическую обработку и окончательную механическую обработку (шлифовку).

В качестве деталей-представителей было изготовлено семь наименований опытных образцов заготовок гильз цилиндров. Анализ номенклатуры деталей позволил выбрать два типа изделий наиболее перспективных для промышленной отработки технологии. Это детали автомобильной трансмиссии: уплотнительные кольца и шестерни.

Опробование технологии проводили на ведущих автомобильных предприятиях Беларуси. На Минском автомобильном заводе (МАЗ) изготавливали шестерни трансмиссии автомобилей МАЗ-5551 и МАЗ-5336, на Минском заводе колесных тягачей (МЗКТ) – уплотнительные кольца трансмиссии тягача мод. 547.

**ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫЕ ЗАГОТОВКИ
ДЛЯ ШЕСТЕРЕН
ИЗ ДЕФОРМИРОВАННОГО ЧУГУНА**

Методом горячей штамповки были изготовлены шестерни дифференциала автомобиля МАЗ-5336: шестерня полуоси (масса около 3 кг, диаметр 120 мм) и сателлит (масса около 1 кг, диаметр 90 мм). Подготовлена к опробованию оснастка для штамповки достаточно крупных и металлоемких деталей: главной зубчатой пары самосвала МАЗ-5551, состоящей из ведущей и ведомой шестерни (масса около 10 и 14 кг соответственно).

Существующая технология изготовления шестерен из легированной стали 20ХН3А предусма-

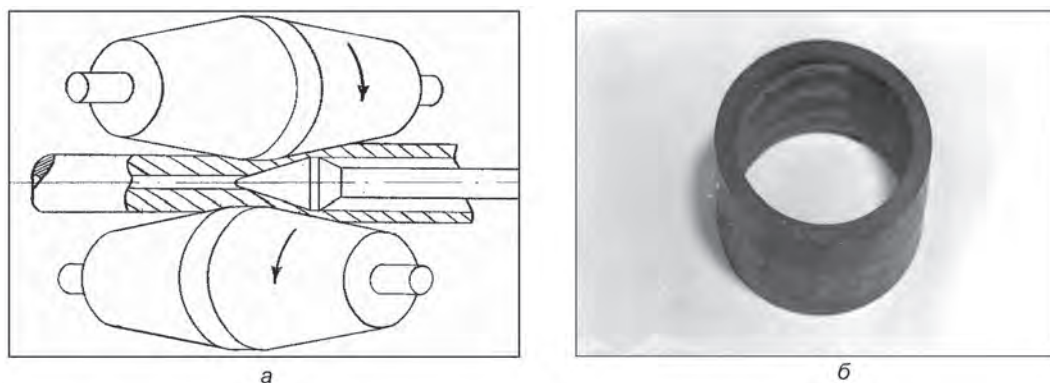


Рис. 15. Получение деталей типа гильз цилиндров винтовой прокаткой-прошивкой: а – схема процесса; б – заготовка гильзы цилиндра из чугуна

тривала резку проката на заготовки, их нагрев до 1100 °С, ковку, отжиг, предварительную механическую обработку, нарезку зуба, цементацию, шлифовку.

Для изготовления шестерен по литейно-деформационной технологии разработали составы высокопрочного чугуна с небольшими добавками никеля и молибдена. Новая технология включала в себя получение литых цилиндрических заготовок для деформирования типа втулок, их отжиг, черновую токарную обработку, горячую пластическую деформацию, нарезку зуба, изотермическую закалку, шлифовку. Особенностью нового технологического процесса являлось его совмещение с имеющимся литейным, штамповочным и термическим оборудованием, требовалось только изготовление специальной штамповой оснастки. Плавку чугуна для получения заготовок осуществляли в печи ДСП-3 по существующей технологии.

Перед деформацией заготовки нагревали токами высокой частоты. Выдавливание проводили на серийном кривошипно-шатунном прессе усилием 630 т в подогреваемом штампе. Всестороннее неравномерное сжатие обеспечивали приложением противодавления. Поковки имели форму, близкую к готовой детали, но без формирования зубьев шестерни (рис. 16). Степень деформации в зоне будущего зубчатого венца варьировали от 20 до 90% изменением диаметра заготовки и количества штамповочных переходов. В случае штамповки опытных образцов шестерен с зубом оптимальным оказался следующий градиент деформации: 40–50% в вершине зуба и 70–80% у основания. При штамповке партии заготовок в количестве 140 шт. выход годных поковок составил 100%. Дальнейшие операции окончательной механической обра-

ботки и шлифовки для чугунных и стальных поковок совпадали. Вместо цементации чугунные шестерни подвергали изотермической закалке, которая включала аустенитизацию в соляной ванне, изотермическую закалку в селитровой ванне из NaNO_3 и KNO_3 . Изменение температурно-временных параметров закалки позволяло получить широкий спектр соотношений бейнита и остаточного аустенита в структуре, а соответственно и свойств чугуна (твердость 35–55 HRC, прочность 900–1400 МПа, относительное удлинение 2–5%). Важным результатом экспериментов было доказательство возможности получения бейнитной структуры на поверхности шестерен из ковкого нелегированного перлитного чугуна на глубине до 10 мм [9]. Изготовили несколько опытных партий шестерен из ковкого и высокопрочного чугунов, полученных литьем, литьем с последующей изотермической закалкой и с использованием горячей штамповки.

Производственные испытания шестерен из деформированного чугуна. Проводили исследование пятна контакта на поверхности зубьев после приработки на контрольно-обкатном станке мод. «Глиссон Т6А». Зафиксировали полную идентичность зон касания в чугунных и стальных шестернях. Уровень шума при работе шестерен из чугуна оказался ниже, чем у стальных. По сравнению со сталью литой чугун показал снижение шума на 1 дБ (А), деформированный высокопрочный – на 1–2 дБ (А), деформированный ковкий – на 3–4 дБ (А). Полученное снижение шума достаточно существенно, если учесть, что правилами Европейской экономической комиссии ООН № 51, введенными в действие с 2000 г. («Евро 2»), общий уровень шума для грузовых автомобилей ограничен величиной 80 дБ. Испытания шестерен на статическую



а



б

Рис. 16. Внешний вид заготовки из чугуна на различных стадиях изготовления шестерен дифференциала трансмиссии автомобиля МАЗ-5336 по литейно-деформационной технологии (литая заготовка, поковка, готовая шестерня): а – спутник, б – шестерня полуоси

прочность при кручении проводили в испытательном центре МАЗ. Испытания заключались в том, что одну из шестерен зубчатой пары жестко и неподвижно закрепляли в установке, а вторую, находящуюся с ней в зацеплении, начинали плавно вращать с очень малой скоростью, что при определенном угле закручивания приводило к разрушению деталей. При испытании главной зубчатой пары неподвижно фиксировали ведомую шестерню, а вращали ведущую. По результатам испытаний определяли максимальный крутящий момент и зависимость крутящего момента от угла закручивания. Предел прочности при изгибе оценивали по величине крутящего момента при разрушении. В результате испытаний шестерен дифференциала МАЗ-5336 было установлено, что литые чугунные шестерни характеризуются низкими значениями крутящего момента. При этом у литых шестерен из высокопрочного чугуна показатели оказались лучше, чем у ковкого. При статических испытаниях до разрушения у деформированных чугунных шестерен характер зависимости крутящего момента от угла закручивания аналогичен шестерням из стали 20ХН3А. У шестерен из деформированного чугуна показатели крутящего момента сопоставимы со стальными. В частности, в момент разрушения шестерен зафиксированы следующие значения максимального крутящего момента: у литых чугунных шестерен – 8 кН·м (ковкий чугун) и 12 кН·м (высокопрочный чугун), у деформированных чугунных – 19,1, у стальных – 18,2 кН·м.

Таким образом, результаты испытаний статической прочности показали, что шестерни из деформированного высокопрочного чугуна находятся на одном уровне со стальными шестернями.

ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫЕ ЗАГОТОВКИ ДЛЯ ПОРШНЕВЫХ И УПЛОТНИТЕЛЬНЫХ КОЛЕЦ ИЗ ДЕФОРМИРОВАННОГО ЧУГУНА

На Минском заводе колесных тягачей (МЗКТ) проводили работы по замене материала и технологии изготовления детали «уплотнительное кольцо трансмиссии» условным диаметром 98 мм. Серийно используемая технология литья заготовок из серого специального чугуна характеризовалась низким выходом годного 30–40%, а изготавливаемые кольца обладали повышенным износом. Особые нарекания вызывали поломки серийных колец при сборке и большие утечки масла при эксплуатации.

Штампованные чугунные заготовки колец обладают следующими преимуществами.

1. Стабильное и однородное качество по всей высоте. Отсутствовала пористость в средней части,

характерная для заготовки, получаемой литьем. Завариваются литейные поры и раковины диаметром до 3 мм.

2. Высокая точность формообразования. У получаемых штамповкой заготовок припуски для механической обработки минимальны – десятые доли миллиметров, в отличие от литейных (достигающих 5 мм).

3. Механические свойства деформированного чугуна в 1,5–2,0 раза выше по сравнению с чугуном в виде литой заготовки.

4. Широкий спектр получаемых структур дает больше возможностей управления механическими и эксплуатационными свойствами чугуна. На наружной, торцевой и внутренней поверхностях кольца формируется структура, соответствующая условиям работы кольца как компрессионного или как маслоъемного.

В качестве материала для новой литейно-деформационной технологии использовали высокопрочный чугун, который отливали в виде втулок. Проточенные заготовки перед деформацией нагревали в индукторе, затем выдавливали маслоты на кривошипном прессе усилием 250 т в подогретом штампе с использованием противодавления. Получаемые втулки имели меньшую толщину стенки за счет обжатия заготовки. Из такой втулки вытачивали 10–15 колец, имеющих припуски под шлифовку по наружному и внутреннему диаметрам (рис. 17). Изменением размеров заготовки и элементов штамповой оснастки получали деформированные втулки со степенью деформации от 20 до 60%. За счет изменения диаметра исходной заготовки и схемы деформации в маслоъемном кольце добивались получения максимума деформации, приходящегося на внешний диаметр,



Рис. 17. Штампованные чугунные заготовки и изготовленные из них кольца

а в компрессионном кольце – на внутренний диаметр. Таким образом, в компрессионном кольце на наружной поверхности включения графита имеют форму, близкую к сферической и практически не текстурованы, благодаря этому достигается максимальное значение упругости кольца. В маслосъемном кольце, наоборот, вытянутые, текстурованные включения графита на поверхности имеют большее сечение и обеспечивают повышение антифрикционных свойств.

После деформации все дальнейшие операции механической обработки и термофиксации колец из деформированного чугуна проводили по серийной технологии.

Опытная партия колец из деформированного чугуна прошла полный цикл длительных ресурсных испытаний в объеме 5000 ч (соответствующий пробегу 300 тыс. км), после которых масса и размеры опытных колец практически не изменились. Испытания показали следующие преимущества колец из деформированного чугуна перед литыми:

- 1) отсутствовали поломки как при сборке, так и при последующей эксплуатации трансмиссии;
- 2) за счет уменьшения микропор повысилась гидроплотность колец и соответственно в 4–7 раз уменьшились потери масла из трансмиссии;
- 3) жесткость колец при испытаниях на сжатие увеличена на 55%;
- 4) усилие при разрушении колец увеличилось на 103%;
- 5) деформация колец при разрушении возросла на 85%;
- 6) формирование в чугуне особых волокнистых графитных включений, ориентация которых соответствует направлению трения, позволяет уменьшить износ сопрягаемой детали.

В настоящее время изготовлена оснастка для изготовления заготовок 11 наименований номенклатуры уплотнительных колец МЗКТ (рис. 18) по новой литейно-деформационной технологии.

Технико-экономическая эффективность технологии изготовления деталей из деформированного чугуна может быть обеспечена за счет следующих факторов:

- 1) замена импортного проката стали 20ХНЗА на чугун собственного производства;
- 2) уменьшение трудоемкости механической обработки и расхода инструмента за счет использования более точной заготовки и лучшей обрабатываемости чугуна;
- 3) снижение массы деталей на 9% за счет меньшей плотности чугуна по сравнению со сталью, составляющее на одном комплекте (одна шестерня полуоси и четыре сателлита) 0,68 кг;

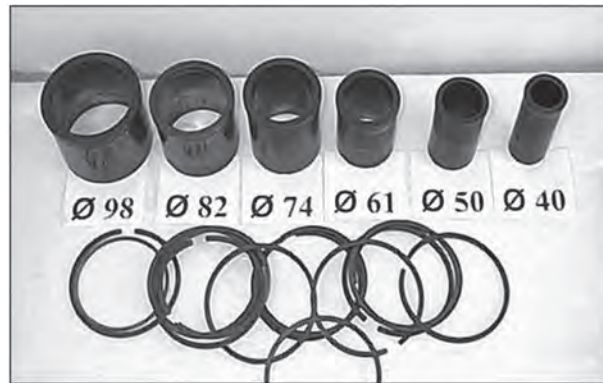


Рис. 18. Типоразмеры штампованных чугунных заготовок для уплотнительных и поршневых колец, производство которых освоено в Физико-техническом институте НАН Беларуси

- 4) снижение уровня шума зубчатой пары в автомобиле на 2–4 дБ.

Выводы

1. Тенденция повышения качества чугунных изделий требует поиска новых нестандартных подходов к обработке чугуна. Использование горячей пластической деформации чугуна значительно улучшает его характеристики. В условиях Беларуси, где предприятия обладают развитым литейным и машиностроительным производством, деформированные чугуны в ряде случаев могут составить существенную конкуренцию импортируемому стальному прокату.

2. Учитывая существенное повышение механических свойств деформированного чугуна до уровня легированных сталей, наиболее эффективно использование деформации для изготовления высоконагруженных и ответственных изделий, сложных по конфигурации. В этом случае затраты на подготовку производства, электроэнергию для нагрева будут перекрыты преимуществами обработки металлов давлением (малые припуски, высокие производительность, качество поверхности и коэффициент использования металла).

3. Разработана и предлагается для опробования на машиностроительных предприятиях технология получения ответственных автомобильных деталей с использованием горячей пластической деформации. Она включает в себя получение литых цилиндрических заготовок под деформацию, их отжиг, черновую токарную обработку, горячую пластическую деформацию выдавливанием, механическую обработку, окончательную термическую обработку и шлифовку. Технология опробована на Минском автомобильном заводе и Минском заводе колесных тягачей при изготовлении деталей типа шестерен и уплотнительных колец.

4. Производственные испытания показали, что чугунные детали, изготовленные с использо-

ванием горячей пластической деформации, существенно превосходят литые и могут составить серьезную конкуренцию стальному прокату. Внедрение технологии оправдано в крупносерийном производстве (от 100 тыс. шт.) либо для таких мелких серий, где требования к гарантиям

качества и свойств материала очень высоки. Экономическая эффективность технологии складывается из полного импортозамещения стального проката, устранения операции цементации, снижения трудоемкости механической обработки.

Литература

1. Гуляев А. П. *Металловедение*. 5-е перераб. изд. М.: Металлургия, 1977.
2. Dudetskaja L. R, Pokrovskii A. I. Foundry-deformational technology for cast-iron parts receiving // *Advanced technologies in material processing: Processings of the 2-nd Intern. Conf. Mn.: International Education Center*. 1997. S. 258–260.
3. Бунин К. П., Таран Ю. Н. *Строение чугуна*. Сер. «Успехи современного металловедения». М.: Металлургия, 1972.
4. Горячая пластическая деформация высокопрочного чугуна / Н. П. Лякишев, Г. В. Щербединский. 5-е собр. металловедов России. Краснодар, 10–13 сентября 2001. С. 249–251.
5. Покровский А. И., Дудецкая Л. Р., Тиманюк В. А. Влияние режимов высокотемпературной пластической деформации на структуру и физико-механические свойства высокопрочного чугуна. Деп. в ВИНТИ 06.05.91. № 1818-B91 // *Весті АН БССР. Сер. фіз.-тэхн. навук*. 1991. № 4. С. 116.
6. Пат. С1 ВУ МПК⁷ С21D5/00. Способ изготовления поршневых колец / Л. Р. Дудецкая, А. И. Покровский, И. К. Данильчик.
7. Баранов А. А., Баранов Д. А. Перспективы технологий, основанных на совмещении горячей деформации и термической обработки чугуна // *Изв. вузов. Черная металлургия*. 2002. № 7. С. 34–40.
8. *Основы металлографии чугуна* / К. П. Бунин, Я. Н. Малиночка, Ю. Н. Таран. М.: Металлургия, 1969.
9. Дудецкая Л. Р., Покровский А. И., Данильчик И. К. Технология деформирования зубчатых колес из бейнитного чугуна // *Ресурсосберегающие технологии: Тез. докл. Междунар. конф. Тула, 1999*.