



The author examines deformation processes of castings of machine building parts of white, gray, malleable and high-duty cast iron by forging, forming, rolling, compaction.

The article cites recommendations of deformation mode and examples of application of deformed castings for machine building parts.

*Л. Р. ДУДЕЦКАЯ, А. И. ПОКРОВСКИЙ, ФТИ НАН Беларуси,
И. С. ГАУХШТЕЙН, М. И. ДЕМИН,
П. С. ГУРЧЕНКО, РУП "Минский автомобильный завод"*

ДЕФОРМИРОВАНИЕ ЧУГУННЫХ ОТЛИВОК ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ

УДК 621.7.016.2:669.13

Благодаря хорошим литейным и технологическим свойствам, высокой износостойкости, демпфирующей способности, хорошей прирабатываемости, меньшей, чем у стали, плотности, невысокой стоимости чугунное литье успешно конкурирует со стальным прокатом при изготовлении ряда ответственных деталей (коленчатые валы, зубчатые колеса).

Главными направлениями получения чугунов с повышенными свойствами на машиностроительных предприятиях являются оптимизация химического состава и строгое соблюдение технологии плавки. Вместе с тем в настоящее время определенный интерес вызывает и горячая пластическая деформация чугуна, позволяющая повысить его свойства и придать отливкам форму, близкую к готовому изделию.

Разделение железоуглеродистых сплавов на стали и чугуны, основанное на количестве углерода, предполагает, что пластической деформации способны подвергаться только стали. Увеличение количества углерода сверх 2,14% приводит сначала к частичной, а затем и полной потере способности к пластической деформации. Поэтому, очевидно, что из-за низкой пластичности чугуна при комнатной температуре деформация должна проводиться в горячем состоянии сплавов и с помощью специальных схем и оснастки. Постепенно к чугуну были опробованы многие технологии и оборудование.

Поскольку авторы статьи ставили своей задачей показать применимость данного способа деформации к определенному типу чугунов, включающему в себя довольно широкий набор химических составов, в некоторых случаях конкретные химические составы не приводятся, а описывается совокупность характерных для него структурных составляющих. Например, под белым нелегированным чугуном подразумевается вся группа сплавов, обладающих похожей структурой, не содержащей графита.

Ковка. Одно из первых исследований проведено в 1931 г. [1] на нелегированном белом чугуне. Заготовки сечением 45×25 мм после медленного нагрева до 1000—1050°C ковали на молоте вначале на широкой части бойка, затем на узкой. Ковка оканчивалась при температуре не ниже 850—900°C. Аналогичный материал ковали [2] после 10—15-минутной выдержки при 950°C легкими ударами молота до 4/5, 2/3, 1/3 исходной высоты. Было отмечено, что при нагреве выше 1000°C происходит резкое падение пластичности чугуна и его хрупкое разрушение. Технологические испытания чугуна после деформации показали возможность его загиба и закручивания на 45, 90 и 360°.

В работах [3, 4] опробованы различные методы ковки для деформации ферритного и перлитного высокопрочного чугуна. Вытяжку на плоских бойках молота проводили после ступенчатого нагрева до 950°C. За один нагрев и три подогрева заготовку из перлитного чугуна диаметром 120 мм проковали на прямоугольное сечение 48×57 мм. Заготовки из ферритного чугуна диаметром 119 мм ковали с круга на квадрат, а затем с ребер квадрата в следующий квадрат. При сечении 60 мм² в поковках появлялись трещины, а при сечении 50 мм² наступало полное разрушение металла. Таким образом, предельный уков при ковке на плоских бойках составлял 4,5. Ковкой в подкатках с ручьями разных диаметров на молоте получали ступенчатые валы диаметрами от 120 до 10 мм (уков 9).

В работе [5] при температуре 1060—850°C ковали высокопрочный чугун на пневматическом молоте. Ковку начинали слабыми ударами, по достижении степени деформации 10—15% энергию удара увеличивали до максимальной. Получена степень деформации 50% при хорошем качестве поковок. Аналогичные результаты получены японскими исследователями [6], успешно ковавшими высокопрочный чугун при температуре 950°C со степенью деформации до 50%. Трещин и дефектов не обнаружено.

Ковка серого чугуна имеет следующие особенности [7]: нагрев до 900—980°C, короткие удары с обжатием за один нагрев не более 8%, легкие удары по углам заготовок для предотвращения образования трещин, после повторного нагрева кантование заготовки на 90°.

В работе [8] после сравнительных исследований динамического осаживания серого перлитно-ферритного и ковкого ферритного чугунов обычных составов в интервале температур 20—1100° С установили, что для этих материалов не рекомендуется использовать открытую осадку и открытую прокатку.

Свободной ковкой доэвтектического белого чугуна после нагрева до 1050—1070°C (30 мин) с промежуточными подогревами (по 15 мин) достигнут уков 6 [9, 10].

В Станфордском университете (США) [11] проводили ковку заготовок из нелегированного белого чугуна. Кубики размером 75×75×75 мм выдерживали при 1120°C (2,5 ч), проковывали и охлаждали на воздухе.

Для повышения пластичности белого чугуна предложено [12] ковку белого чугуна осуществлять в два этапа: вначале предварительную деформацию со степенью 10—15%, затем выдержку в течение 3—7 ч и окончательную деформацию.

Японские исследователи [13] ковкой литых заготовок из непрерывнолитого белого чугуна изготавливали дробильные шары.

При ковке хром-ванадиевых белых чугунов [14] получали относительную степень деформации до 60%. Максимальный уков до появления ковочных трещин при свободной ковке составлял 6,5—7,0, что значительно превышает минимально необходимый уков для ликвидации литой структуры в легированных (не менее 2,5) и углеродистых сталях (не менее 3,0).

В работе [15] с помощью горячей деформации получали прокатные валки из белого чугуна следующим способом: 1) отжиг при 1050—1100°C; 2) горячая деформация протяжкой; 3) осадка на прессе при температуре 950—1070°C со сжатием в осевом направлении на 30—45%.

Завершая рассмотрение опытов по ковке высокоуглеродистых сплавов железа, отметим следующее. Все виды чугунного литья, кроме сплавов с пластинчатыми включениями графита, поддаются ковке. Однако следует отметить, что при ковке необходимо сохранять узкий интервал деформации, многократные подогревы, легкие удары, ограниченную степень деформации за один проход.

Прокатка. В работах [3, 4] прокатывали высокопрочный чугун на лабораторном реверсивном стане в валках диаметром 400 мм со скоростью 0,3 м/с. На заготовках квадратного сечения со стороной 35 мм за один проход было получено обжатие 38%. Средняя скорость деформации при каждом проходе (от 0,1 до 1 м/с), за четыре прохода с соответствующими

подогревами достигли суммарного обжатия 55%. Поведение высокопрочного чугуна при прокатке, как показано в [16], близко к сталям различных марок. В лабораторных условиях удалось прокатать из него уголки и различные прямоугольные профили. Высокопрочный чугун прокатывали при температуре 1000°C [17] на стане ДУО-2 при обжатиях 25, 45, 70 % за один проход. Чугун при температуре деформации обладал высокой пластичностью, трещины отсутствовали. В работе [18] прокатывали высокопрочный чугун в виде пластин размером 10×100×600 мм после 1-часового нагрева при 1000°C с уменьшением по толщине с 4,5 до 2,7 мм. Получены качественные заготовки.

В работе [8] при открытой прокатке серого чугуна при температуре 900°C получено наибольшее обжатие за один проход — 27%. При профильной прокатке серый чугун не выдерживал возникающих растягивающих напряжений и образцы раскрывались при выходе из валков.

В Уральском политехническом институте [19] при прокатке белого нелегированного и легированного чугуна было изготовлено 30 прокатных валков для черновой клетки проволочного стана Западно-Сибирского металлургического завода и редуционного стана Первоуральского новотрубного завода.

В Днепропетровском металлургическом институте [20] имеются наработки по прокатке низколегированного и легированного белого чугуна на различных типах прокатного оборудования, в том числе при самой жесткой схеме — прокатке на блюминге. Деформацию слитков на стане 850 до заготовки сечением 240×240 мм проводили за девять проходов, а после повторного нагрева заготовки за 15 проходов катали на блюмсы сечением 120×120 мм. После прокатки слитков значительно возрастает уровень пластичности чугуна и расширяется его температурный интервал максимальной пластичности. Полученные блюмсы удалось повторно прокатать на прутки диаметром 40—45 мм на сортовом стане 400. Технология прошла промышленную проверку на производственном объединении "Ижсталь" при изготовлении сортового проката.

При прокатке белых ледебуритных чугунов, легированных ванадием, ниобием и титаном [21, 22] при температуре прокатки 800—1030°C, получены степени обжатия до 95%. Японские исследователи [23] на образцах из белого чугуна, легированного хромом и молибденом, проводили прокатку при температурах 800—1030°C. Достигнута степень обжатия более 95%.

В США [11] прокатывали при 1000°C предварительно прокованные бруски из нелегированного (2,13—2,36% С) белого чугуна (40×40×75 мм) со степенью деформации 5—10% за один проход при 16 проходах. Прокатку заканчивали при темпера-

туре 650°C. Толщина прокатанного штрипса составляла 12 мм, трещин на его торцах не было.

Таким образом, из приведенного выше можно сделать следующие выводы. Прокатка наиболее эффективна для высокопрочного и белого чугунов. Предельные степени деформации для высокопрочного чугуна — 60%, для белого — 95%. Резерв повышения пластичности белого чугуна — формирование в структуре изолированных цементитных включений.

Штамповка. При штамповке высокопрочного чугуна на гидравлическом 400-тонном прессе и фрикционном падающем молоте получали деталь "кулачок токарного патрона" [3, 4]. Ступенчатые заготовки имели такие же форму и размеры, как для аналогичных стальных заготовок. Штамповка на прессе вызывала образование большого облоя, недоштамповки и неполного оформления углов кулачка, на молоте качество более высокое. В работе [24] использовали ковку или штамповку при 1100—850°C со степенью обжатия 20—60% для повышения прочности и пластичности чугуна.

Высокопрочный ферритно-перлитный чугун штамповали [25] в прессовом цехе Липецкого тракторного завода на 1-тонном молоте в подогретом штампе (300—500°C). Из непрерывнолитых заготовок диаметром 22 мм получали поковки "серьги", а из заготовок диаметром 60 мм и длиной 86 мм поковки "муфты" и "ведущей шестерни" (без зубьев) трактора. Качество поковки зависело от силы удара: при штамповке за один удар поковка имела внутренние трещины сдвигового характера, а при 2—3 ударах трещин не было.

Таким образом, штамповка наиболее эффективна для высокопрочного чугуна. Желательно использование подогреваемого штампа, проведение штамповки на молоте, небольшая степень деформации.

Выдавливание, прессование. В работе [26] получены прессованием качественные прутки из серого чугуна с вытяжкой 5, но при условии использования исходных заготовок, помещаемых в стальную оболочку.

Установлено [32], что при прессовании серого чугуна без противодействия максимальные вытяжки составляли 3,3—3,7. При этом угол конусной матрицы должен составлять около 60° и необходимо применение смазки. В Физико-техническом институте НАН Беларуси [8] методом истечения через отверстие матрицы при непосредственном контакте пуансона с матрицей выдавливали серый и ковкий чугун. На стержневой поковке с головкой достигнута степень деформации 84%. Для гарантии качества рекомендуется применять противодействие 30—40 МПа.

В работе [4] выдавливали турбинные лопатки из заготовок высокопрочного чугуна размерами 10×18×40 мм, нагретых в электропечи до 900°C, на кривошипном 100-тонном прессе (использовали

типовой штамп для аналогичных стальных лопаток). Установлена верхняя граница деформации в 1000°C, превышение которой приводит к резкому падению пластичности.

В работе [27] выдавливали серый и высокопрочный чугун жидкостью высокого давления. Предельные деформации для высокопрочного чугуна 74%, для серого — 45% (при больших степенях формируются микротрещины и последующее истечение металла напоминает деформирование порошка со слабой металлической связью между отдельными частицами).

В Украинском трубном институте [28—30] на гидравлическом 1000-тонном прессе прессовали трубы из серого и высокопрочного чугуна по следующей схеме. В контейнер подается нагретая полая чугунная заготовка, снизу контейнер запирается матрицей. До начала прессования игла вводится в отверстие матрицы и между ними появляется щель, соответствующая профилю трубы. Внутренние очертания трубы образуются оправкой, а наружные матрицей. При движении в направлении матрицы пуансон выдавливает металл между оправкой и матрицей, в результате чего формируется труба. Особенности прессования чугуна в отличие от стали: повышенные усилия и небольшая скорость прессования [31]. Из заготовок диаметром 110 мм и длиной 220 мм получали трубы с наружным диаметром 48 мм при толщине стенки 4,5 мм (вытяжка 15). Температура заготовок перед прессованием была в пределах 975—1020°C, причем превышение верхнего предела опасно разрушением. Усилие прессования на установившейся стадии процесса изменялось от 710 до 820 т. При прессовании происходит дополнительный разогрев заготовки, особенно ее внутренней зоны. Надрывы возникали в случаях, если заготовка предварительно неравномерно нагрета по сечению и при скорости истечения более 1,1 м/с. При снижении температуры до 910°C и уменьшении скорости деформации до 0,5—0,8 м/с надрывы сосредоточивались только на переднем и заднем концах трубы (150—200 мм) и выход годного достигал 95%.

При изотермическом прессовании на гидравлическом прессе в штампе, нагретом до 900°C [32], деформировали образцы серого чугуна диаметром 24 мм и высотой 30 мм. Трещины возникали только в донной части прутка, когда подпор со стороны выходящего из очага металла мал, остальная поверхность прутка чистая, без задилов и трещин. Установлены следующие закономерности прессования.

1. Снижение скорости деформации повышает пластичность. Так, при скорости 2,2 мм/с образец имеет две плоскости скола, при скорости 1,2 мм/с — одну, при скорости 0,7 и 0,1 мм/с — уменьшающиеся по глубине надрывы на поверхности, при скорости 0,02 мм/с — вообще нет нарушений целостности.

2. Чем меньше скорость деформации, тем меньше сопротивление деформации. Так, снижение скорости деформации с 0,1 до 0,005 с⁻¹ вызывает уменьшение напряжения со 145 до 70 МПа (т.е. меньше в 2 раза).

3. Чем меньше скорость прессования, тем меньше усилие деформирования. Так, при скорости прессования 2 мм/с среднее давление 350 МПа, при скорости 0,05 мм/с — 130 МПа (т.е. меньше в 3 раза).

Горячим гидродинамическим выдавливанием [33—35] деформировали высокопрочный чугун. Заготовку, нагретую до 850°C, помещали в подогретый до 300—400°C контейнер штампа, а сверху на нее устанавливали графитный вкладыш и проводили выдавливание пуансоном через отверстие конической матрицы со скоростью 0,8 м/с. Получали качественные прутки, при этом степень деформации достигала 80—85%. В [36] приведены интервалы степеней деформации (50—95%) и скорость деформации (1—2) · 10³ с⁻¹.

Предложен способ выдавливания деталей из цилиндрических заготовок ковкого чугуна при 1000°C [37] с коэффициентом вытяжки 1,4—4,8 в штампе на 400-тонном гидравлическом прессе. Получали качественный материал с повышенными свойствами. Горячей экструзией высокопрочного чугуна [38] при 850—900°C получали прутки диаметром 20 мм и трубки диаметром 15 мм с толщиной стенки 3 мм. При этом степень деформации достигала 70—90%.

Таким образом, прессование — самый благоприятный способ деформирования чугуна, создающий состояние неравномерного трехосного сжатия (не угрожающее нарушению сплошности материала). Прессование позволило деформировать все типы чугунов и даже серый, разрушающийся при ковке и штамповке.

Пластичность чугуна в горячем состоянии и способы ее повышения. В работе [16] показано, что в зависимости от вида испытаний интервал температур максимальной пластичности может меняться. Данные для высокопрочного чугуна приведены в таблице.

Таким образом, для большинства нелегированных чугунов оптимальный температурный интервал деформации составляет 900—1100°C.

Один из путей повышения пластичности — термическая обработка чугуновых отливок. В частности, в работе [2] пластичность белого чугуна увеличивают следующей термообработкой: нагрев до 800—900°C, закалка в селитровую ванну при 225—235°C с некоторой выдержкой. При этом определенное время в структуре сохраняется стабильный аустенит, имеющий высокую пластичность и до наступления его превращения образцы можно закручивать на один и более оборот или загибать.

Определяли температурный интервал максимальной пластичности белого чугуна при испытаниях на удар [9]. Низкая пластичность в литом состоянии (0—500 кДж/м²) обусловлена хрупкой сеткой избыточной составляющей, большой величиной исходного аустенитного зерна и сохраняется до эвтектоидной температуры. После завершения превращения перлита в более пластичный аустенит с температурой 750°C ударная вязкость начинает расти, достигает максимума при 1100°C, затем резко снижается. Максимум (70 кДж/м²) обусловлен тем, что при данной температуре возрастает растворимость углерода в аустените и значительное количество углерода переходит в твердый раствор. В результате карбидный каркас утончается, а при 1050—1100°C частично теряет сплошность. При этой температуре повышается и пластичность самого цементита, который деформируется путем множественного скольжения. Дальнейшее резкое падение пластичности обусловлено главным образом плавлением ледебурита.

Повышение пластичности до 1,5 раз можно обеспечить за счет сфероидизации нерастворившихся включений вторичного цементита и дробления пластин эвтектического цементита во время предварительного высокотемпературного отжига при 1050°C в течение 20 ч. Предварительная горячая деформация белого чугуна более существенно (до 3 раз) повышает пластичность.

В работе [39] на примере доэвтектического белого чугуна подтверждено, что изменение пластичности от температуры носит куполообразный характер с максимумом 1030—1070°C. Рекомендуемый интервал пластической деформации находится в пределах 875—1050°C. Количественно установлено, что если при испытаниях прокаткой на

Температурно-силовые параметры при различных видах испытаний

Вид испытаний	Определяемые параметры	Температура деформации, °C	Максимальная степень деформации, %
Растяжение	Предел прочности при растяжении, относительное удлинение, сужение	700—1050	28—58
Сжатие	Предел прочности при сжатии, максимальное обжатие	700—1100	57—73
Удар	Ударная вязкость	850—1000	—
Ударное растяжение	Относительное удлинение, сужение	700—1100	27—34
Кручение	Число оборотов	700—1100	—
Осадка	Максимальное обжатие (при разрушении)	860—1050	58—60
Прокатка	Максимальное обжатие	800—1100	39—44

клин степень деформации сдвига к моменту разрушения превышает некоторое критическое значение, то литые заготовки белых чугунов можно обрабатывать давлением (например, свободной ковкой на молоте). С помощью математического планирования выявлена связь между химическим составом и сопротивлением деформации чугуна в горячем состоянии. Для повышения пластичности рекомендуется комплексное легирование чугуна хромом, никелем, молибденом и ванадием.

В работе [40] объясняется рост пластичности белого чугуна при температуре 1050—1100°C растворением участков, соединяющих карбиды в каркас, и повышением пластичности аустенита. Для дальнейшего роста пластичности предлагается предварительная термообработка при температурах выше неравновесного, но ниже равновесного солидуса (разрушающая эвтектическую сетку) и последующее охлаждение до распада аустенита (измельчающее зерно аустенита). Наиболее эффективен следующий режим: нагрев до 1150°C (30 мин), охлаждение до 650°C (30 мин), нагрев до 1125°C (30 мин) и последующая деформация. С его помощью ресурс пластичности может быть повышен в 1,5—2,0 раза.

Области применения деформированного чугуна в машиностроении. Из высокопрочного деформированного чугуна можно успешно изготавливать поршневые и прокладочные кольца, гильзы [41, 42]. В Японии и Германии [43] используются прокатные валки новых типов из белого деформированного чугуна. В [19] сообщается об изготовлении из белого деформированного чугуна опытной партии прокатных валков для черновой клетки проволочного и редуционного станков Западно-Сибирского металлургического завода, что позволило повысить их стойкость в 1,5 раза.

Технология производства труб для химической промышленности диаметром 30—100 мм при длине 3—7 м прессованием высокопрочного чугуна разработана в Украинском трубном институте [30]. Испытания показали, что стойкость труб в основных агрессивных средах в 5—10 раз выше стойкости труб из углеродистой стали. Рекомендуется использование прессованных труб в химической промышленности (прежде всего в содовом производстве), в нефтеперерабатывающей промышленности (подогревательные устройства).

Технология получения сортовых профилей проката из низколегированных белых чугунов разработана в Днепропетровском металлургическом институте [20]. Изготовленные таким образом рабочие валки полосовых станков обладают в 2 раза большей стойкостью, чем легированные стальные, обеспечивая более высокое качество обрабатываемых поверхностей. Технология прошла промышленную проверку на ПО "Ижсталь".

В ФТИ НАН Беларуси [34] разработана технология изготовления изделий из чугуна, включаю-

щая в себя горячее выдавливание в штампе и последующую термообработку.

Выводы

1. Для деформирования чугуна пригодно большинство имеющихся схем деформации. Наилучшие из них те, в которых используется неравномерное трехосное сжатие (выдавливание, прессование) при пониженной скорости деформации в подогреваемой оснастке. Общие особенности деформации чугуна: малая степень деформации за один проход, узкий температурный интервал, повышенные усилия.

2. Ресурс пластичности чугуна перед пластической деформацией может быть повышен до 2 раз специальной термической обработкой.

3. Кроме придания детали точной формы, деформация существенно повышает механические свойства чугуна (до 2—3 раз).

4. Деформированный чугун довольно широко применяется на предприятиях США, Японии, Германии, России в качестве заменителя проката легированных сталей, в том числе для ответственных машиностроительных деталей.

Литература

1. Баранов С. А. // Сообщ. Всесоюз. ин-та металлов. М.; Л.: Гос. науч.-техн. изд-во, 1931. № 8. С. 22—25.
2. Погодин - Алексеев Г. И. // Вестник машиностроения. 1951. № 4. С. 57—60.
3. Унксов Е. П., Бережковский Д. И. // Вестник машиностроения. 1953. № 12. С. 29—35.
4. Унксов Е. П., Бережковский Д. И. // Получение отливок из высокопрочного чугуна. М.: АН СССР, 1955. С. 137—149.
5. Замула К. П., Петриченко А. М. и др. // Изв. вузов. Черная металлургия. 1977. № 10. С. 140—143.
6. Makoto S., Kingo N. // Umono J. Jap. Foundrymens Soc. 1977. Vol. 49, N 8. P. 495—500.
7. Ключников С. И. // КИП. 1961. № 3. С. 19—23.
8. Губкин С. И., Юшков А. В. и др. // Сб. науч. тр. Физ.-техн. ин-та АН БССР. Мн.: Изд-во АН БССР. 1955. Вып. 2. С. 3—15.
9. Богачев И. Н., Ветрова Т. С. // Литейное производство. 1972. № 6. С. 28—29.
10. Богачев И. Н., Ветрова Т. С. // МиТОМ. 1973. № 4. С. 58—59.
11. Wadsworth J., Sherby O. D. // Foundry manag and technol. 1978. N 10. P. 59—64.
12. А.с. 1046302 СССР: МКИ³ С 21 D 5/04 / Ю. Н. Таран, П. Ф. Нижниковская и др.
13. Thome M., Gharentenay L. // 4-me colloque international de labrasion. Grenoble, 1979. P. 23/1—23/17.
14. Жуков А. А., Сильман Г. И. и др. Износостойкие отливки из комплексно-легированных белых чугунов. М: Машиностроение, 1984.
15. А.с. 1139760 СССР: МКИ⁴ С 21 D 9/38 / М. Е. Фрейдзон, Б. Г. Ветров и др.
16. Ващенко К. И., Софрони Л. Магнийвый чугун. М.; Киев: Машгиз, 1960.
17. Гитенский Э. Г., Петрушин Г. Д. // Вопросы металловедения и физики металлов. Тула, 1977. С. 142—146.
18. Пат. 53-20448 Япония: МКИ С 21 D 7/14. / Ханай Кэньити, Фукимура Цукаса.
19. Скобло Т. С., Воробьева Э. Л. // Сортопрокатное производство. 1978. Вып. 6. С. 105—111.
20. Технология получения сортового проката из белого чугуна: Информ. листок /Днепропетр. металлург. ин-т. Киев, 1986.
21. Агапова Л. И. Повышение прочностных и пластических свойств белого чугуна: Дис. ... канд.техн. наук. М., 1981.

22. Агапова Л. И., Ветрова Т. С. и др. // *Митом*. 1982. № 5. С. 55—58.
23. Онуки Тэру, Накамура Каудзи и др. // *Tetsu to hagane, J Iron and Steel Inst. Jap.* Vol. 63, N 4. P. 349.
24. А.с. 969759 СССР: МКИ³ С 21 D 5/00. / К. П. Замула, Л. А. Солнцев и др.
25. Козлов Л. Н., Власов Н. Г. и др. // *КШП*. 1983. № 2. С. 12—13.
26. Могучий Л. Н. // *Пластическая деформация металлов*: М.: Наука, 1964.
27. Булычев Д. К., Береснев Б. И. // *ФММ*. 1962. Т. 13. Вып. 6. Свердловск: Metallurgizdat. С. 943—944.
28. Шевченко А. А. и др. // *Металлургическая и горно-рудная промышленность*. 1961. № 1.
29. Шиян В. Г. // *Высокопрочный чугун*: Сб. докл. Всесоюз. совещ. Киев: Гостехиздат. 1964. С. 188—190.
30. Иванов В. Г., Шиян В. Г. *Прогрессивная технология производства чугунных труб*. М.: Машиностроение, 1969. Гл. 6. С. 126—150.
31. А.с. 133039 СССР: МКИ 7b, 2/50 / В. Г. Шиян, А. А. Шевченко и др.
32. Бойцов В. В., Бахарев А. В. и др. // *КШП*. 1973. № 8. С. 12—14.
33. Мурас В. С., Храмченков А. И. и др. // *Литейное производство*. 1980. № 5. С. 16—17.
34. Антонишин Ю. Т. *Технология изготовления изделий из чугуна комбинированным методом пластической деформации* // *Информ. листок*. Мн., 1982.
35. Антонишин Ю. Т. *Разработка технологии горячего гидродинамического выдавливания чугуна*: Дис. ...канд. техн. наук. Мн., 1985.
36. А.с. 829693 СССР: МКИ³ С 21 D 5/02. / Ю. Т. Антонишин, Г. И. Хаблак.
37. А.с. 1285025 СССР: МКИ⁴ С 21 D 5/00. / А. Х. Белов, М. Н. Клейнер и др.
38. Гветадзе Р. Г. *Разработка и оптимизация составов высокопрочных деформируемых чугунов*: Дис. ...д-ра техн. наук. Киев, 1990.
39. *Пластичность и разрушение* / В. Л. Колмогоров, А. А. Богатов и др. М.: *Металлургия*, 1977.
40. Воробьева Э. Л., Петрук И. И. и др. // *Обработка металлов давлением*. 1977. № 4. С. 20—23.
41. Palmer K. B. // *Journal of Research and Development*. 1957. N 12. P. 638—660.
42. Sigg B. Schweiz. // *Arch. wiss. techn.* 1955. N 21. S. 148—150.
43. Kohira Hiroshi Masao // *The Recent Development of Rolls*. Nippon Steel techn., Rept. Overseas. 1972.