

Василевский О.В.,***Кухарь В.В.****

* ООО «Метинвест – Мариупольский

ремонтно-механический завод», г.

Мариуполь, Украина,

** ГВУЗ «Приазовский

государственный технический

университет», г. Мариуполь, Украина

E-mail: kvv.mariupol@gmail.com

ВЗАИМОСВЯЗЬ ПРИЧИН ПОЛОМОК, ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА И ТЕХНОЛОГИИ КОВКИ ИЗДЕЛИЙ ДЛЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ТРАНСПОРТА

УДК 621.73

Проанализированы показатели, характеризующие качество изделий для металлургического оборудования и транспорта, производимых процессамиковки. Показана взаимная связь между показателями качества кованных поковок и стойкостью деталей, изготовленных из таких поковок. В условиях кузнечно-прессового цеха ООО «Метинвест – Мариупольский ремонтно-механический завод» проведен ряд экспериментально-промышленных исследований, позволивших определить влияние механических свойств, макроструктуры, микроструктуры, получаемых при используемых режимахковки, на эксплуатационные свойства кованных деталей. Исследования проводили относительно продукции, производимой из сталей 25X1M1Ф, 40XH2MA и Сталь 45 на гидравлическом ковочном прессе модели ДП1141A1 номинальной силой 12,5 МН. Для анализа использовали спектральный метод определения химического состава сталей, ультразвуковой метод контроля, металлографические методы определения ликвации по серному отпечатку, макроструктуры и микроструктуры, стандартизированные методы механических испытаний. Кроме изучения непосредственно мест изломов и разрушений, уделяли значительное внимание технологическим и термомеханическим режимам, при которых были откованы вышедшие из строя изделия. Выполненное обобщение причин поломок деталей «Мундштук», «Дорн 12"», «Ролик», «Ось» позволило определить, что основным направлением повышения стойкости деталей металлургического оборудования и транспорта является разработка режимовковки, обеспечивающих по сечению равномерность накопленной деформации (локальной проработки литого металла), однородность микроструктуры и, как правило, равномерность механических свойств.

Ключевые слова: кованое изделие, режимковки, уков, показатели качества, микроструктура, причина поломки, методы контроля качества.

Введение

Наиболее нагруженные детали металлургического оборудования и транспорта изготавливают исключительно способами обработки металлов давлением, причем ведущую роль играют процессыковки [1]. Долговечность работы таких деталей зависит от показателей их качества. В свою очередь качество кованных поковок определяется возможностью получения из них деталей необходимых геометрических размеров с заданной чистотой поверхности, обеспечением требуемых механических свойств, структурой, отсутствием поверхностных и внутренних дефектов. В работе [2] отмечено, что свойства кованого изделия обусловлены практически всем циклом его изготовления: маркой стали, исходным качеством слитка (что зависит от метода выплавки, условий кристаллизации и т.п.), условием нагрева и температурными интерваламиковки, термомеханическим режимомковки, режимом термической обработки поковок. Также качествоковки зависит от характера микроструктуры стали, оцениваемой размерами зерна. Чем более мелкозернистая структураковки, тем более высокими механическими и эксплуатационными свойствами обладает кованое изделие.

Анализ последних исследований и публикаций

Требования к качеству металлопродукции приводятся в стандартах, конструкторской и технологической документации, технических условиях (ТУ), договорах на поставку. Для контроля качества изготовленной продукции устанавливают приемо-сдаточные и периодические испытания, которые должны обеспечивать достоверную проверку всех свойств выпускаемой продукции, подлежащих контролю. Для повышения качества металлопродукции и уменьшения её себестоимости проводят комплексные мероприятия по снижению уровня брака на всех этапах производства. Так для получения инструментальных сталей высокого качества они могут быть выплавлены в открытых электропечах с последующей внепечной обработкой на установке «печь - ковш» и вакууматорах с рафинированием в печах электрошлакового переплава (ЭШП), как это делают, например, на предприятии «Днепроспецсталь» (г. Запорожье) [3, 4]. Передовой опыт данного предприятия, использующего большое количество разнообразного оборудования, показывает целесообразность производства кузнечных слитков открытой дуговой выплавкой с использованием электрошлакового переплава. Дальнейшее сочетание способов обработки металлов давлением (ОМД) представляет собой совокупность нескольких технологических схем, обеспечивающих получение целого ряда профилей определенного качества. Структура изделий и их служебные свойства оп-

ределяются технологией ОМД: сочетанием способов деформирования, величинами единичных обжатий, скоростями, температурой и суммарной степенью деформации. Наряду с традиционными схемамиковки и прокатки инструментальных сталей используются нетрадиционные схемы, включающие прокатку слитков с последующей ковкой катаных заготовок на сортовые профили [4]. Однако, изложенные технологические решения справедливы только в отношении сортамента небольшой массы.

В поковках с вытянутой осью встречаются следующие виды брака [5]: дефекты металлургического происхождения; дефекты нагрева; дефекты, возникающие при ковке; невыдержанные показатели механических свойств и макроструктуры. Качество и стойкость кованных деталей, как правило, определяется комплексом механических свойств материала. Для жаропрочных сталей это высокая длительная прочность и сопротивление ползучести. Традиционно проверку показателей качества осуществляют на продольных образцах, отобранных из припуска у шейки, обращенной к прибыльной части слитка. Сопоставление твердости поковок, их механических свойств, макроструктуры, микроструктуры с результатами эксплуатации позволяет оценить влияние данных параметров на изменение срока службы кованой детали. Особое влияние приобретает качество структуры сталей в машиностроении и при производстве деталей, работающих в условиях высоких температур и при постоянных нагрузках [6, 7].

В технической литературе не в достаточной степени освещены данные по анализу стойкости деталей металлургического оборудования и транспорта. Большая часть исследований затрагивает вопросы стойкости прокатных валков или роликов, как наиболее нагруженного и дорогостоящего инструмента в металлургии [8–10]. Эксплуатационная стойкость валков прокатного стана в значительной мере зависит от макро- и микроструктуры, количества остаточного аустенита, размера (балла) зерна, характера карбидной сетки, формы и характера распределения неметаллических включений. Т.е. качество исходного слитка в значительной мере влияет на стойкость деталей. Вытянутые в процессе пластической деформации включения и ликвационные участки становятся концентраторами напряжений, а, в дальнейшем, – очагами микро- и макротрещин. Остаточный аустенит отрицательно влияет на стойкость валков [10, 11]. По данным металлографических исследований [11], проведенных на Магнитогорском металлургическом комбинате, около 70 % поломок валов вызвано нарушением режимов эксплуатации, 15 % случаев – неравномерной структурой, и 15 % случаев – сочетанием этих двух факторов. Валки, показавшие максимальную стойкость, имели равномерную мелкозернистую структуру, а валки с крупнозернистой структурой металла обеспечили минимальный уровень стойкости.

Таким образом, анализ причин поломок деталей металлургического оборудования и транспорта с учетом технологии производства в условиях определенного предприятия позволит выявить основные направления повышения качества и улучшения эксплуатационных свойств на этапе их изготовления.

Цель работы

Целью данной работы является анализ основных показателей качества и технологических условий производства кованных деталей металлургического оборудования и транспорта для выявления причин их поломок и определения направлений повышения их эксплуатационных свойств.

Изложение основного материала

Для определения влияния механических свойств, макроструктуры, микроструктуры, получаемых при используемых режимахковки, на эксплуатационные свойства кованных деталей был проведен ряд экспериментально-промышленных исследований в условиях кузнечно-прессового цеха ООО «Метинвест

– Мариупольский ремонтно-механический завод» (ООО «Метинвест – МРМЗ»), ранее – блок ремонтных цехов ПАО «Мариупольский металлургический комбинат имени Ильича». Во всех случаях ковку проводили на гидравлическом ковочном прессе ДП 1141А1 номинальной силой 12,5 МН.

Деталь «Мундштук». Проведено исследование вышедшей из эксплуатации детали «Мундштук». Деталь изготавливалась из поковки IV группы КП 490 ГОСТ 8479, материал – 40ХН2МА. Эскиз поковки представлен на рис. 1. Ковку поковки производили из шестигранного слитка массой 10500 кг. Наружный диаметр слитка после обкатки составлял 800 мм.

Обжатия производили плоскими бойками шириной 300 мм. Ковку проводили по схеме «квадрат-пластина-квадрат» с обкаткой на круг на последнем проходе. Разрушение произошло на расстоянии 1230 мм от

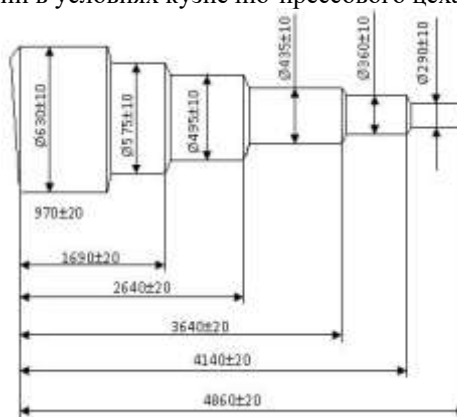


Рис.1 – Эскиз поковки для детали «Мундштук»

одного из торцов по диаметру 500 мм, уков (соотношение площадей поперечного сечения исходного слитка и поковки) на данной шейке составил $U = 2,0$.

Излом перпендикулярный оси детали, неоднородный по макрорельефу; у наружной поверхности на глубине 40 мм четко просматривается стенка усталостных трещин – притертая, окисленная, с грубым хрупким узором, распространившаяся на $\frac{1}{4}$ часть длины окружности детали. Далее, на глубину 85 мм, распространяется сглаженная зона крупнокристаллического зернистого строения. В осевой зоне детали грубый камневидный излом (рис. 2). Результаты механических испытаний металла показали заниженные значения предела текучести: фактически $\sigma_{0,2} = 394$ МПа, требуемые $\sigma_{0,2} = 490$ МПа.

Проведенные исследования макроструктуры детали показали укрупнения ликватов, с появлением пятен интенсивной окраски диаметром до 1,5...2 мм, в направлении осевой зоны детали. Микроструктура ме-талла (рис. 3) неоднородна по величине зерна, на фоне участков с балом № 8...9 присутствуют участки с ба-лом № 5...6. Проведенные макро- и микроструктурные исследования показали, что используемые режи-мыковки не позволили в достаточной мере добиться проработки литой структуры металла. Это не по-зволило в полном объеме устранить дендритную и зональную неоднородность металла, измельчить зер-но, и, как следствие, не позволило обеспечить необходимые механические свойства детали, что привело к преждевременному выходу её из строя.



Рис. 2 – Излом металла по месту разрушения детали «Мундштук» (фрагмент)

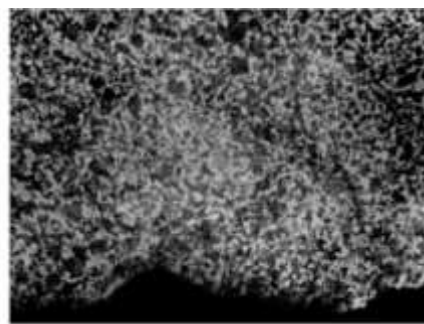


Рис. 3 – Микроструктура металла по месту разрушения детали «Мундштук» (фрагмент)

Деталь «Дорн 12». Исследовали качества металла разрушившегося дорна 12” (чертеж № ТП-6346А, рис. 4), изготовленного из стали марки 40ХН2МА ГОСТ 4543, поковка гр. III ГОСТ 8479, твердость 260...300 НВ. По номенклатуре дорн может быть изготовлен также из стали 25Х1М1Ф. Поковку (рис. 4) ковали из шестигранного слитка массой 5000 кг. Наружный диаметр слитка после обкатки составляет 600 мм. Обжатия проводили плоскими бойками шириной 300 мм. Ковку производили по схеме «квадрат-пластина-квадрат» с обкаткой на круг на последнем проходе. Диаметр поковки в месте разрушения дорна составил 345 мм (после механической обработки 310 мм). Уков составил $U = 2,8$.

Трещина, выявленная на поверхности дорна, имеет притертую поверхность характерную для усталостного разрушения и распространяется перпендикулярно поверхности на глубину 50 ... 60 мм. Остальная часть излома имеет крупнокристаллическое строение. В $\frac{1}{4}$

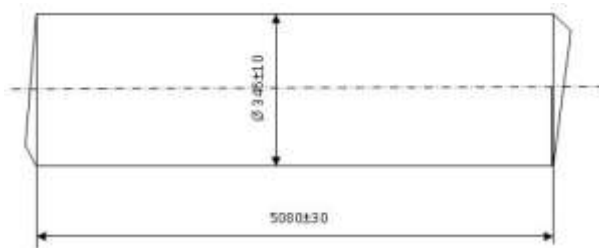


Рис. 4 – Эскиз поковки для детали «Дорн 12»

толщины дорна в изломе имеются крупные вырывы с наклонными площадками. Макроструктура по серному отпечатку характеризуется равномерным распределением ликватов средней интенсивности окраски в виде укрупненных точек (рис. 5, а). Металл после травления плотного строения, без дефектов (рис. 5, б). Микроструктура металла дорна резко неоднородная по распределению структурных составляющих, состоит из относительно крупных зерен феррита, располагающихся широкими полосами, и полос сорбитообразного перлита с тонкой ферритной сеткой (рис. 6). Резко неоднородная и крупнозернистая структура ухудшила механические свойства металла и обусловила преждевременную поломку дорна.

Таким образом, низкое качество микроструктуры изделия было обусловлено неудовлетворительным выбором режимовковки, вследствие чего по сечению металла наблюдается значительная неравномерность накопленной деформации.

Деталь «Ролик». На исследование была направлена проба, отобранная в месте разрушения формирующего ролика моталки стана 1700, материал – Сталь 45 ГОСТ 1050, поковка гр. III ГОСТ 8479-70 (рис. 7). Поковку изготавливали из шестигранного слитка массой 5000 кг. Наружный диаметр слитка

после обкатки составляет 600 мм. Обжатия производили плоскими бойками шириной 300 мм. Ковку производили по схеме «квадрат-пластина-квадрат» с обкаткой на круг на последнем проходе. Разрушение произошло по галтельному переходу с диаметра 100 мм на диаметр 156 мм. Уков в месте разрушения составил $U = 3,3$. Излом имеет хрупкое крупнокристаллическое строение, дефектов металлургического происхождения в изломе не выявлено.

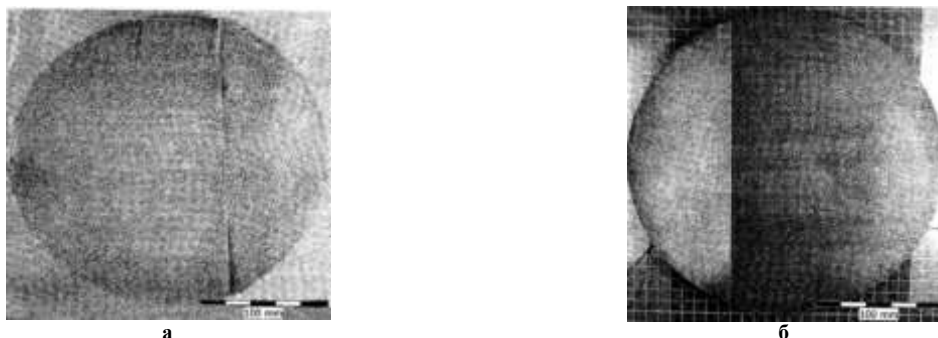


Рис. 5 – Макроструктура металла детали «Дорн 12» по серному отпечатку (а) и после травления (б)



Рис. 6 – Микроструктура металла детали «Дорн 12» $\times 100$ (а) и $\times 200$ (б)

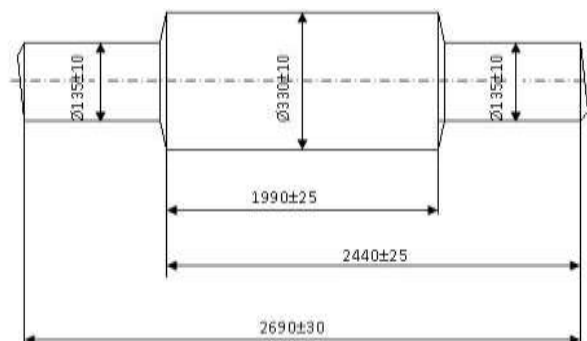


Рис. 7 – Эскиз поковки для детали «Ролик»

Оценку микроструктуры проводили на продольных микрошлифах до и после травления 4 % спиртовым раствором HNO_3 . Исследования металла показали, что микроструктура перлитно-ферритная, неоднородная по величине зерна, полосчатая, бал зерна колеблется от 1 по 6 номер по ГОСТ 5639-82 (рис. 8). Ролик имеет неудовлетворительную крупнозернистую неоднородную структуру, что способствовало его разрушению при эксплуатации.

Вследствие недостаточной интенсивности пластической деформации и неравномерности её распределения была получена поковка с неудовлетворительной микроструктурой. Следовательно, для улучшения качества изготавливаемой поковки необходимо произвести оптимизацию режима пластической деформации металла, так как имеющийся технологический режим не позволяет добиться получения поковки с требуемыми эксплуатационными характеристиками.

Поковка «Ось». Осваивали изготовление поковок для осей трамвайных вагонов (рис. 9), согласно требованиям ГОСТ 6144 и ГОСТ 6143. На первой партии осей после проведения ультразвукового контроля (УЗК) были выявлены дефекты. С целью установления природы выявленных дефектов были отобраны пробы для проведения металлографических исследований, в ходе которых определен химический состав заготовки спектральным методом по ГОСТ 18895, проведена оценка макро- и микроструктуры. Поковку изготавливали на паровоздушном ковочном молоте с МПЧ 2 т М1343 из предварительно

кованной на гидравлическом ковочном прессе (ДП1141А1) заготовки из стали 25Х1М1Ф. Суммарный уков при переделе «слиток – поковка «оси» составил 19,75. Ковку осуществляли в плоских бойках, схемаковки квадрат-квадрат-круг.

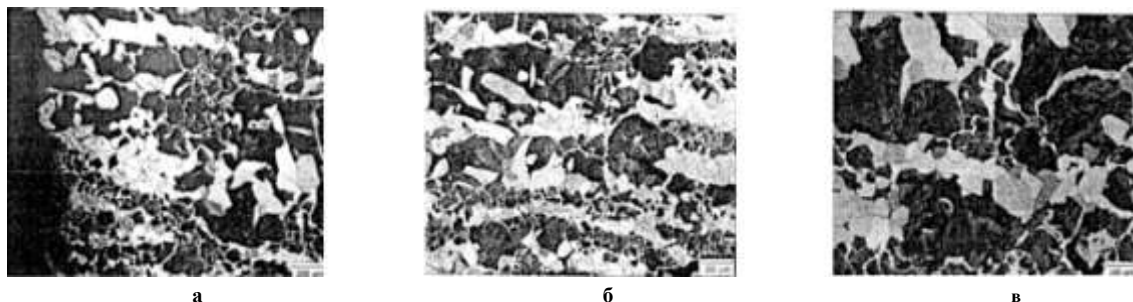


Рис. 8 – Микроструктура металла детали «Ролик» по излому $\times 50$ (а), вдали $\times 50$ (б), $\times 100$ (в)

Исследование макроструктуры продольных темплетов, отобранных от исследуемой пробы, показало, что серные отпечатки имеют среднюю интенсивность окраски. В средней трети по толщине располагаются грубые ликвационные скопления в виде полос до 15 мм. После травления по местам скопления ликватов произошло растравливание металла (рис. 10). По ликвационным скоплениям были изготовлены микрошлифы, на которых выявлены грубые строчки сульфидов, имеющие протяженность до 2 мм. Загрязненность металла сульфидами оценена более 5 балла (рис. 11). Микроструктура оси неоднородная феррито-перлитная крупнозернистая (рис. 12). Значительные по протяженности скопления сульфидных включений фиксировали на УЗК как дефекты. Также выявлено, что выбранные режимыковки не обеспечили равномерной проработки структуры металла (несмотря на высокий уков равный 19,75), что в дальнейшем негативно отразится на эксплуатационных характеристиках изготовленных осей.

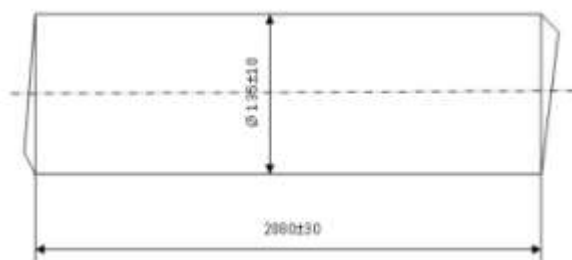


Рис. 9 – Эскиз поковки детали «Ось»

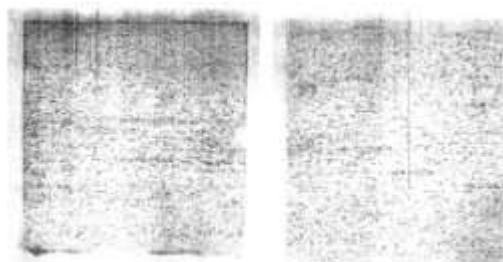


Рис. 10 – Макроструктура металла трамвайной оси по серному отпечатку

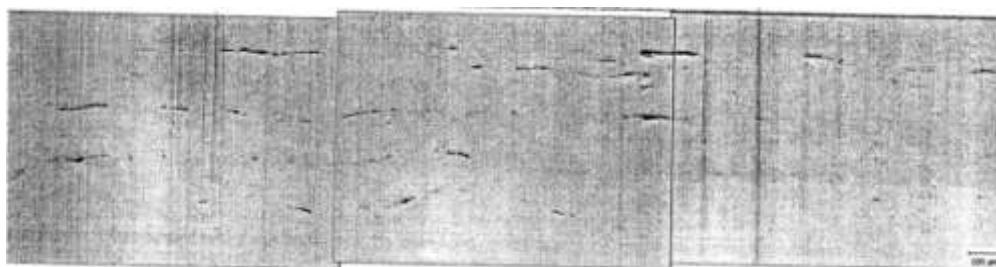


Рис. 11 – Загрязненность металла трамвайной оси неметаллическими включениями

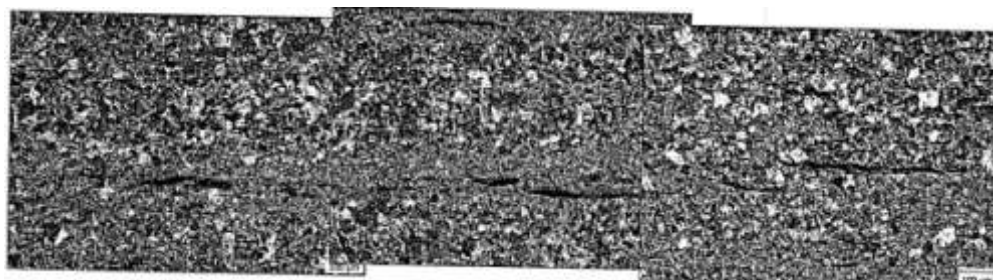


Рис. 12 – Микроструктура металла трамвайной оси

Выбор новых эффективных режимов производства поковок валов необходимо проводить с учетом проведенных исследований схемковки и термомеханических условий деформации.

Выводы

В результате проведенных исследований выполнен комплексный анализ показателей качества ковального металла изделий для металлургического оборудования и транспорта, которые были разрушены в процессе эксплуатации или идентифицированы как дефектные после технологического цикла их изготовления. Выявлено, что неравномерность распределения металлографических показателей (характеристик макро- и микроструктуры, ликвационных явлений и др.), механических свойств, дефектов и неоднородность металла негативно сказывается на стойкости тяжело нагруженных деталей, вызывая их преждевременные поломки, при этом существенную роль играют технологические режимыковки. Показано, что используемые на предприятии режимыковки не в полной мере обеспечивают требуемые показатели качества ковальных деталей. Для повышения равномерности распределения механических свойств по сечению изделий необходимо обеспечение равномерной проработки структуры металла приковке. Это требует изменения концепции разработки технологииковки применительно к используемому в условиях предприятия инструменту путем выбора рациональных параметров обжатий, подач и кантовок, которые, в первую очередь, гарантируют требуемые показатели качества ковальных изделий.

Литература

1. Обработка металлов давлением в машиностроении / П. И. Полухин, В. А. Тюрин, П. И. Давидков, Д. Н. Витанов. – М.: Машиностроение; София: Техника, 1983. – 279 с.
2. Чухлеб В. Л. Основы разработки технологических процессов обработки давлением сталей и сплавов с прогнозируемым уровнем качества металлопродукции / В. Л. Чухлеб, А. Н. Тумко, А. В. Ашкелянец // Вісник Національного технічного університету «ХП» : зб. наук. пр. – Харків: НТУ «ХП», 2011. – Темат. вип. : Нові рішення в сучасних технологіях, № 47. – С. 110-120.
3. Развитие производства крупных поковок из специальных сталей в условиях ПАО "Днепро-спецсталь" / А.И. Панченко, А.Н. Тумко, Е.С. Фомин и др. // Обработка материалов давлением: сб. науч. тр. – Краматорск: ДГМА, 2012. – № 2 (31). – С. 79-84.
4. Развитие технологи производства проката и поковок из высоколегированных инструментальных сталей в условиях ПАО «Днепро-спецсталь» / В.Н. Корниевский, А.С. Сальников, А.Н. Тумко, И.Н. Логозинский, П.А. Шибeko // Обработка материалов давлением : сб. науч. тр. – Краматорск: ДГМА, 2013. – № 4 (37). – С. 153-159.
5. Зюбан Н.А. Исследование осевых дефектов кузнечных слитков и поковок из них валов роторов турбогенераторов / Н.А. Зюбан, Д.В. Рущкий, С.Б. Гаманюк // Технология машиностроения. – 2010. – № 11. – С. 13-16.
6. Крутасова Е.И. Надежность металла энергетического оборудования / Е.И. Крутасова. – М.: Энергоиздат, 1981. – 240 с.
7. Кухарь В.В. Технологическая наследственность при формообразовании удлиненных поковок с заостренным концом способом продольного разрыва заготовки / В.В. Кухарь, С.А. Короткий, О.В. Васи-левский // Теоретичні і прикладні задачі обробки металів тиском та автотехнічних експертиз : Міжнар. наук.–техн. конф. : тез. доповідей / ВНТУ. – Вінниця, 2011. – С. 98-99.
8. Прочность прокатных валков / П. И. Полухин, В.А. Николаев, В.П. Полухин и др. – Алма-Ата: Наука, 1984. – 295 с.
9. Кочура Н.Н. Стойкость роликов при многопроходном накатывании крупнопрофильных резьб / Н.Н. Кочура // Омский научный вестник. – 2011. – № 3 (103). – С. 87-90.
10. Боровик Л.И. Причины выхода из строя валков холодной прокатки / Л.И. Боровик, А.Ф. Пименов // Сталь. – 1961. – № 8. – С. 716-719.
11. Тарновский И.Я. Свободная ковка на прессах / И.Я. Тарновский, В.Н. Трубин, М.Г. Златкин. – М.: Машиностроение, 1967. – 327 с.

Поступила в редакцию 07.06.2016

Vasylevskiy O.V., Kukhar V.V. **Correlation between failures causes, quality indices and forging technology of products for metallurgical equipment and transport.**

Indices for characteristic of quality of products for the metallurgical equipment and transport that produced by forging were analyzed. Correlation between the quality indices of forged parts and durability of work-parts that made of such forgings is shown. The numbers of experimental and industrial research were made in terms of press-forging shop of LLC "Metinvest – Mariupol Mechanical Repair Plant" that allowed to determine the effect of the mechanical properties, macrostructure and microstructure, obtained by forging used modes, on the performance characteristics of forged parts. Investigations were carried out with respect to products manufactured from steel 25X1M1Φ, 40XH2MA and Steel 45 grades on the hydraulic forging press DP1141A1 model with 12.5MN nominal strength. Spectral method for determining the chemical composition of steel, ultrasonic inspection method, metallographic methods for determining segregation sulfuric fingerprint, macrostructure and microstructure, standardized methods of mechanical tests used to analyze. In addition to research directly to fractures and destruction of places, devoted considerable attention to technological and thermomechanical modes under which were to forge defective products. Executed generalization of breakdowns (failures) causes "Mouthpiece", "Dorn 12 ", "Roller", "Axis" parts has allowed to determine that the main direction of increasing the resistance of the details of metallurgical equipment and transport is the development of modes of forging that providing the uniformity of the accumulated deformation (local working of cast metal), and the uniformity of the microstructure, generally uniform of mechanical properties in the parts' cross sections.

Keywords: forged products, forging mode, reducing of square, quality indices, microstructure, failure cause, method of quality control.

References

1. Polukhin P.I., Tyurin V.A., Davidkov P.I., Vitanov D.N. Obrabotka metallov davleniem v mashinostroenii [Metal Forming in Mechanical Engineering], M., Mashinostroenie; Sofija, Tehnika, 1983, 279 p.
2. Chukhleba V.L., Tumko A.N., Ashkeljanets A.V. Osnovy razrabotki tehnologicheskikh processov obrabotki davleniem stalej i splavov s prognoziruemym urovnem kachestva metalloprodukcii [Basics of development of technological processes of metalforming of steels and alloys with forecast level of products quality], Visnik Nacional'nogo tehnicnogo universitetu "KhPI", zb. nauk. pr., Temat. vyp. Novi rishennija v suchasni tehnologijah, Kharkiv, NTU «KhPI», 2011, Vol. 47, pp. 110-120.
3. Panchenko A.I., Tumko A.N., Fomin E.S., etc. Razvitie proizvodstva krupnyh pokovok iz special'nyh stalej v uslovijah PAO "Dneprospetsstal" [The development of large forgings production from special steels in a JSC "DSS"], Obrabotka materialov davlenie, sb. nauch. tr., Kramatorsk, DGMA, 2012, Vol. 2(31), pp. 79-84.
4. Kornievskiy V.N., Salnikov A.S., Tumko A.N., Logozinskiy I.N., Shibeko P.A. Razvitie tehnologii proizvodstva prokata i pokovok iz vysokolegirovannyh instrumental'nyh stalej v uslovijah PAO «Dneprospetsstal» [Development of the technology of production of rolled and forged products from high-alloys tool steels in a JSC "DSS"], Obrabotka materialov davleniem, sb. nauch. tr., Kramatorsk, DGMA, 2013, Vol. 4(37), pp. 153-159.
5. Zjuban N.A., Rutskiy D.V., Gamanjuk S.B. Issledovanie osevyh defektov kuznechnykh slitkov i pokovok iz nih valov potopov tupbogenepatopov [A study of axial defects of forging ingots and forgings of these shafts rotors of turbogenerator], Tehnologija mashinostroenija, 2010, issue 11, pp. 13-16.
6. Krutasova E.I. Nadezhnost' metalla jenergeticheskogo oborudovanija [Reliability of the metal for power equipment], M., Energoizdat, 1981, 240 p.
7. Kukhar V.V., Korotkiy S.A., Vasilevskiy O.V. Tehnologicheskaja nasledstvennost' pri formoobrazovanii udlinjonnyh pokovok s zaostrennym koncom sposobom prodol'nogo razryva zagotovki [Technological heredity in forming of elongated forgings with the pointed end by the process of longitudinal rupture of workpiece], Teoretichni i prikladni zadachi obrobki metaliv tiskom ta avtotehnicnih ekspertiz, mizhnar. nauk.-tehn. konf., tez. dopovidey, Vinnitsya, VNTU, 2011, pp. 98-99.
8. Polukhin P.I., Nikolaev V.A., Polukhin V.P., etc. Prochnost' prokatnyh valkov [Strength of the rolls], Alma-Ata: Nauka, 1984, 295 p.
9. Kochura N.N. Stojkost' rolikov pri mnogoprohodnom nakatyvanii krupnoprofil'nyh rez'b [Resistance rolls with multipass rolling of large-profile threads], Omskiy nauchnyj vestnik, 2011, issue 3(103), pp. 87-90.
10. Borovik L.I., Pimenov A.F. Prichiny vyhoda iz stroja valkov holodnoj prokatki [Reasons of failure of the rolls for cold rolling], Stal', 1961, issue 8, pp. 716-719.
11. Tarnowskiy I.Ja., Trubin V.N., Zlatkin M.G. Svobodnaja kovka na pressah [Free forging by presses], M., Mashinostroenie, 1967., 327 p.