

ШТАМПЛАРНИНГ АСОСИЙ ИШЧИ ДЕТАЛЛАРИНИ ПУХТАЛАШ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ ТАХЛИЛИ

Эргашев Дилшодбек Мамасидиқович

Докторант, PhD, доцент, Андижон давлат техника институти,

dilshodbekergashev796@gmail.com

Аннотация - Ушбу ишда совуқ ҳолда штамповкалаш учун мўлжалланган штампларнинг асосий ишчи деталларига қўйиладиган техник талаблар, уларнинг ишчи зоналарининг ейилиши, ейилишга таъсир этувчи омиллар ва ейилишга чидамлилиқни ошириши йўллари тахлили келтирилган.

Калит сўзлар: совуқ ҳолда штамповкалаш, ейилиш, асбобсозлик пўлатлари, легирланган пўлатлар, углеродли пўлатлар, мустахамлик, қаттиқлик.

КИРИШ

Ҳозирги кунда дунёда илмий-техник тараққиётнинг замонавий ҳолати кўп жиҳатдан машинасозликнинг ривожланиш даражаси билан аниқланади, бу эса ўз навбатида мамлакатнинг иқтисодига таъсир кўрсатади. Машинасозликда жуда ҳам муҳим муаммолардан бири металл ҳажми ва электр энергия сарфини камайтириш ҳисобланади. Қора металллар, жумладан асбобсозликда ишлатиладиган пўлатлар сарфини камайтириш, бу пўлатларни мавжуд бўлган олиш технологиясини такомиллаштириш, иккиламчи хомашёлардан фойдаланилган ҳолда олинадиган пўлатларнинг таннархини пасайтириш ва ушбу муаммоларни ечишда турли хил кесувчи ва штамплаш асбобларини пухталаш технологияларини ишлаб чиқиш алоҳида аҳамият касб этмоқда.

Жаҳон миқёсида турли термоцикли ишлов бериш усуллари ёрдамида асбобларнинг ейилишга чидамлилигини оширишни таъминлайдиган структура ҳосил бўлиш механизмлари бўйича илмий-тадқиқот ишлари олиб борилмоқда. Бу борада мавжуд бўлган термоцикли ишлов бериш усуллари баъзилари асбобларни тайёрлашда маҳсулотнинг таннархини пасайтириш ва меҳнат ҳажмини камайтириш учун хизмат қиладиган, турли асбобларнинг ишга лаёқатлилигини оширадиган, энергиятежамкор термоцикли ишлов бериш технологияларини ишлаб чиқишга алоҳида эътибор берилмоқда.

Замонавий машинасозлик саноатида металлларга босим остида ишлов бериш усуллари жуда кенг қўлланилади. Улар ичида совуқ ҳолда ҳажмий штамплаш алоҳида аҳамият касб этади. Совуқ ҳолда ҳажмий штамплашда нисбатан оғир юкланадиган операциялардан бири чўктириш операцияси ҳисобланади. Совуқ ҳолда чўктириш учун мўлжалланган штамплар мураккаб кучланишлар ҳамда нисбатан юқори тезликда зарбий юкланиш характерига эга бўлган юқори циклик юкланишлар таъсирида ишлайди.

АСОСИЙ ҚИСМ

Совуқ ҳолда ҳажмий штамплашда нисбатан оғир юкланадиган операциялардан бири чўктириш операцияси ҳисобланади. Совуқ ҳолда чўктириш учун мўлжалланган штамплар мураккаб кучланишлар ҳамда нисбатан юқори тезликда зарбий юкланиш характериға эға бўлган юқори циклик юкланишлар таъсирида ишлайди.

Штампларнинг ишчи зонасида 2500 МПа қийматға эға бўлган сезиларли даражадаги солиштирма юкланиш юзаға келади. Штамповкалаш шароити “металлзаготовка-асбоб” (татбиқ этилган клин тури) нинг маҳаллий контактида сезиларли даражада ўта қийинлашади ва унинг бу зонада солиштирма юкланиш 3500 МПа максимал қийматгача етиши мумкин. Асбобнинг контактли ҳажмларини қиздиришда жуда кўп ҳолларда ҳарорат 150-170°C дан ошмайди. Шу билан бирға штамповкалашнинг юқори интенсивлигида деформацияланадиган металлнинг катта ҳажми ва деформациянинг юқори даражасида асбобнинг қиздириш ҳарорати 300–400 °C гача етиши мумкин.

Юқорида қайд этилган чекланишлар ва бошқа бир қатор ҳолатларда совуқ ҳолда чўктириш учун мўлжалланган асбобларнинг унча катта бўлмаган узоққа чидамлилиги аниқланган.

Штампларнинг бардошлилиги, айниқса, штампланадиган заготовканинг массасини аниқлайдиган тангенциал (ҳалқали) кучланишлар ошиши билан тезда камайиши билан характерланади [1].

Юқорида қайд этиб ўтганимиздек асбобларға бўлган харажатлар штамповкалаш таннархининг 20-35% гачасини ташкил этади.

Шунға қарамасдан, совуқ ҳолда чўктириш прогрессив технологик жараёнлар қаториға киради. Бу усулда заготовкани чўктириш ҳолатида тайёр маҳсулотнинг шакли, ўлчами ва юзасининг тозалигиға нисбатан яқинлашган ҳолатида олиш, жараённинг юқори унумдорликка эға эканлиги, юкланиш схемасининг бир текисда ҳар томонлама сиқишға яқин ҳолатида ўққа симметрик бўлган шароитда буюмнинг асосий физик-механик хоссаларини ошириш имкониятларини аниқлаб беради.

Бардошлиликни ошириш бўйича муаммони ечиш ВК6, ВК8 маркали қаттиқ қотишмалардан асбобларни тайёрлаш ҳисобланади. Роликли чўктириш матрицалари учун айниқса, катта габаритлилари учун чўктиришнинг биринчи босқичида “металлзаготовка - гравюра” контакт зонасида сезиларли даражада маҳаллий юкланишларнинг юзаға келиши билан боғлиқ бўлган ҳолатларда амалий жиҳатдан қаттиқ қотишмали матрицалар қўлланилмайди.

Юқорида кўрсатилган муаммони ечиш учун совуқ ҳолда чўктирилган асбоблар ейилишининг асосий қонуниятлари ва ишдан чиқиш сабаблари бўйича маълумотлар керак бўлади. Асбобнинг узоққа чидамлилигини ошириш муаммоларини ечишда комплекс ёндашув кераклигини таъкидлаб ўтамыз. Адабиётлар маълумотиға кўра турли номенклатураға (цилиндр ва конусли роликлар, шариклар, болт-парчинлаш туридаги деталлар ва шунға ўхшашларни олиш учун) эға бўлган совуқ ҳолда чўктиришға мўлжалланган штампларни эксплуатация қилишдаги маълумотлар йиғиндисини уч сабабларға кўра амалға

оширилади: гравюранинг шакл ўзгартириши қайтарилмас эканлиги, ишчи зонанинг яхлитлиги бузилиши ва штампларнинг кўчиши бўйича.

Асбобнинг ишчи зоналари шакли ва ўлчамларининг маҳаллий ёки умумий қайтмас ўзгаришлари пластик деформацияланиш ва абразив ейилиши натижасида содир бўлади. Штампларнинг ишчи юзалари геометрик ўлчамлари ўзгаришларининг устун механизми ягона нуқтайи назардан тадқиқотчилар томонидан ишлаб чиқилмаган. Совуқ ҳолда деформациялаш учун асбоблар қайтмас шакл ўзгаришининг заготовка материалига абразив таъсир этиши ва қисман асбобнинг ишчи қисмини толиқишдан дарз кетиб кўчиши билан боғлайдилар [2].

Тадқиқотлар асбобнинг ўлчами бўйича барқарорлигини аниқлайдиган ҳолатда штамплар тайёрланадиган материалнинг оқувчанлик чегарасига боғлиқлигини кўрсатадилар. Умуман гравюранинг қайтмас шакл ўзгариши интенсивлиги унинг конфигурацияси, штамповкалашнинг ҳарорат-кучлар шарти ва штамп материалининг мустаҳкамлик тавсифномаларига боғлиқ бўлади. Шу билан бирга қаттиқлик ва штамплаш материалининг тобланиш чуқурлигига ҳам катта таъсир кўрсатади [5].

Тобланган зона қаттиқлигининг ошиши бир томондан ейилишга чидамлик ва пластик деформацияланишга қаршилиқнинг ошишига олиб келса, бошқа томондан қовушқоқлик ва кўчишларнинг камайишини юзага келтиради. Қаттиқликнинг камайиши эзилиш ва контактли зонанинг шакл ўзгаришининг тезлашишига олиб келади. Етарли бўлмаган тобланиш чуқурлиги ва ўтиш зонаси ҳамда штампларнинг ишчи юзаларидаги сезиларли даражадаги контактли кучланишлар қатламлардаги етарли бўлмаган мустаҳкамлик туфайли маҳаллий пластик деформацияларни юзага келтириши мумкин. Ва аксинча, кўрсатиб ўтилган зоналарнинг ҳаддан ташқари штампнинг ишчи ҳажмларидаги қовушқоқлигининг камайишига олиб келади ва бунинг натижасида, асбоб макро участкаларининг дарз кетиб кўчиши ва майдаланиши содир бўлади.

Совуқ ҳолда деформациялаш шароитида ейилишга чидамлик даражаси карбидлар тури, уларнинг миқдори, дисперслиги ва ҳажмда бир текисда тақсимланишига боғлиқ бўлади. Юқори ейилишга чидамлик карбидлар структурасида майда ва бир текисда тақсимланишни юзага келтиради. Йирик тўпланмалар ёки тасмалар кўринишида ишчи юзаларга кирган карбид заррачалари ёки уларнинг ҳаддан ташқари кўп миқдори бу ҳолатда кўшимча абразив вазифани ўйнайди, ейилишни тезлаштириши ҳисобига дарз кетиши, синиши кузатилиши мумкин. Маълумки, карбидлар фазасининг ҳолати кристалланиш, пластик деформацияланиш шартлари ва сезиларли даражада термик ишлов бериш схемаси ва режимлари билан аниқланади. Бироқ яқунловчи термик ишлов беришлар босқичида (тоблаш ва бўшатиш билан) карбидли фазаларнинг йўналтирилган бошқариш масалалари жуда ҳам кам ўрганилган ва шунинг учун у долзарб ҳисобланади. Бу имкониятлар ҳозирги кўрилаётган илмий-тадқиқот ишида тадқиқ қилинади.

Штамп ишчи зонаси яхлитлигининг бузилиши, микро ва макроскопик узилишлар (дарзлар) юзага келиши турли хил сабаблар натижасида рўй беради.

Совуқ ҳолда деформациялаш учун мўлжалланган штампларнинг барвақт эксплуатация қилиш босқичида дарз кетишларининг юзага келиши ва кейинги жадаллашиши типик ҳолат деб ҳисобланмайди ва металлургик, технологик ёки конструкцион характерга эга бўлган нуқсонлар билан боғлиқ бўлган ҳолда кўп циклли юкланишларда эса юқори интенсивлик – кам циклли толиқишлар билан боғлиқ бўлади. Дарзларнинг юзага келиши юқори солиштирма кучлар таъсири, кўп ҳолларда эса совуқ ҳолда чўктиришда юзага келадиган пўлатнинг вақтинчали узилишга қаршилиги натижасида пайдо бўлади. Микродарзларнинг мавжудлиги қайтмас шакл ўзгартириш, ушлаб қолиш ва абразив ейилиш жараёнларини жадаллаштиради. Дарзларнинг маҳаллийлаштирилган жойларида кучланишлар концентрацияси юзага келади, мустаҳкамлик ва қовушқоқлик тавсифномалари шиддат билан пасаяди, бу эса устма-уст тушадиган контактли ушлаб қолиш жараёнларида бўшлиқ ва микро узилишлар юзага келишига олиб келади.

Дарзларнинг жадаллашиш кинетикаси эксплуатация шароитида асбобсозлик пўлатларининг хоссасига боғлиқ бўлади ва асбобнинг секин-аста емирилиш механизми бўйича ва зудлик билан емирилиш – штампларнинг майда бўлакчаларга бўлинишида намоён бўлади. Штампларнинг майда бўлакчаларга бўлиниши бизга маълум бўлган асбобларни олишнинг баъзи бир алоҳида босқичларида жиддий технологик жараённинг бузилишлари ёки флюктацион ҳодисалар (карбид ва нометалл қўшимчалар бўйича дағал балларга эга эканлиги, толани сиқиб қолиш, болғаланувчан ёки термик келиб чиқиш табиатига эга бўлган дарзларнинг мавжудлиги, қолдиқ чўзувчи кучланишларнинг юқори даражаси ва бошқалар) билан боғлиқ бўлади, асбобнинг мўртликдан емирилишига қаршилигини баҳолашда муҳим тавсифномалардан бири ҳисобланган штамп материалининг мустаҳкамлик чегараси ва зарбга қовушқоқлиги асос қилиб олинади.

Шундай қилиб, совуқ ҳолда чўктириш учун мўлжалланган штамплар учун ейилиш бўйича етакчи механизмлар асбобнинг ишчи зоналарининг қайтмас шакл ва ўлчамлари ўзгариши (асосан пластик шакл ўзгариш ва ейилиш билан боғлиқликда) ҳамда дарзларнинг пайдо бўлиши (штампларнинг майда бўлакчаларга бўлиниши) ҳисобланади. Мос равишда совуқ ҳолда чўктириш учун мўлжалланган штамплар юқори пластик деформацияланишга қаршилик кўрсатиш ва ейилишга чидамлик хоссаларини имкон даражада юқори қовушқоқлик билан биргаликда характерланиши керак. Шу ўринда бу талаблар билан совуқ ҳолда чўктириш учун мўлжалланган асбоблар учун мўлжалланган штамплаш пўлатлари ҳамма чегараларда қониқарли технологик хоссалари (етарли даражадаги болғаланувчанлик, товланиш чуқурлиги, товланувчанлик ҳамда қониқарли даражада ишлов берувчанлик, кесувчанлик, силликланувчанлик ва бошқаларга эга эканлиги) билан характерланиши керак.

Асбобнинг кучланганлик ҳолатини конструктив ҳамда юзасини пухталаш усулларида бошқариш масалалари [3] ишда кўриб чиқилган.

Совуқ ҳолда штамплар учун материалнинг физик-механик хоссалари даражаси бир қатор тадқиқотчиларнинг [2,3] фикрларига кўра бардошлиликни аниқлайдиган омиллардан ҳисобланади. Физик-механик хоссаларни ўзгартириш

нисбатан легирланган пўлатларни, юқори мустаҳкам ва ейилишга чидамли қопламаларни қоплаш (плазмали қоплаш, ион-плазмали юпқа қопламалар қоплаш, лазерли ишлов бериш усуллари, кимёвий-термик ишлов бериш усуллари, ейилишга чидамли қотишмалар билан ишчи юзаларни эритиб қоплаш) усуллари билан амалга оширилиши мумкин [4]. Совуқ ҳолда ишлайдиган штампларнинг узокқа чидамлилигини ошириш бўйича муаммоларни ечишда сезиларли даражада натижаларга термик ишлов беришнинг схемаларини аънавий усулда оптимиллаштириш ва режимлари орқали эришиш мумкин бўлади. Бу муҳандислик бўйича йўналтирилган ечим нисбатан энг қулай ва бажариши мумкин бўлган ечим ҳисобланади. Бироқ, совуқ ҳолда чўктириш учун мўлжалланган штампларнинг бардошлилигини ошириш маълум бўлган термик ишлов бериш усуллари билан амалга ошириш амалий жиҳатдан мумкин эмас. Бу йўналишдаги янги имкониятлар ҳажмий ёки маҳаллий термик ишлов беришнинг янги схемаларини (мос равишда ва режимларини ҳам) тадқиқ қилиш ва ишлаб чиқиш билан боғланган.

Совуқ ҳолда чўктириш учун мўлжалланган асбоблар углеродли ва легирланган пўлатлардан тайёрланади. Углеродли пўлатлар кичик тобланиш чуқурлиги ва унча катта бўлмаган хоссалари билан характерланади. Шунинг учун У10, У11 маркали пўлатлар фақат унча катта бўлмаган куч билан чўктиришга мўлжалланган кичик габаритли штамплар (30 мм диаметрли) учун қўлланилади. Бу пўлатларнинг қўлланилиши жуда ҳам чекланган [6].

Якунловчи структура ҳолати ва ўз навбатида талаб этилган якуний хоссалар дастлабки структура ҳолатининг ўзига хос хусусиятлари, термик ишлов беришнинг схемаси ва режимлари билан аниқланади. Совуқ ҳолда деформациялаш учун мўлжалланган структура белгилари бўйича жуда кўпчилик асбобсозлик пўлатлари мувозанат ҳолатида ортиқча (иккиламчи) карбидларнинг мавжудлиги билан характерланадиган эвтектоиддан кейинги пўлатлар қаторига киради. Кўриб чиқиладиган синфдаги асбобсозлик пўлат-ларига иссиқ ҳолда механик ишлов беришнинг ўзига хос схемаси (прокатлаш ёки болғалаш) амалга оширилгандан сўнг бу пўлатлар турли дисперслик даражасига эга бўлган пластинкали турига эга бўлган перлит структурасига айланади. Бизга яхши маълумки, бундай структура юқори техник-иқтисодий кўрсаткичлар ва кейинги механик ҳамда термик ишлов бериш операциялари ва айниқса эксплуатация шароитида юқори сифатни таъминлаб бермайди.

Совуқ ҳолда деформациялаш учун мўлжалланган асбобсозлик пўлатларига термик ишлов бериш амалиётида баён этилганларни англаш орқали қуйидаги кетма-кетликдаги термик ишлов бериш операцияларини қўллаш тавсия этилган: сфероидловчи юмшатиш, тоблаш ва бўшатиш.

Донали перлит олиш учун мўлжалланган юмшатиш тайёрловчи операцияси ҳисобланади ва у икки асосий мақсадни кўзлайди: совуқ ҳолда босим билан ишлов бериш босқичида (масалан, совуқ ҳолда итариш усулида асбобнинг шаклини ҳосил қилиш) ёки лезвияли асбобларнинг технологиклигини ошириш учун мустаҳкамлик ва қаттиқлик тавсифномаларини камайтириш ва якунловчи термик ишлов беришдан кейин мустаҳкамлик, қовушқоқлик ва бошқа

тавсифномаларни талаб этилган ҳолатда биргаликда олишни кафолатлайдиган дастлабки структура ҳолатини шакллантириш ҳисобланади. Донали перлит олишда юмшатишларнинг жуда кўп усуллари мавжуд: паст ва юқори ҳароратли юмшатишлар, бу ҳароратларда узоқ вақт ушлаб туриш ва аста-секин совитиш, маятникли ёки циклли ва бошқалар.

Ўзига хос юмшатишдан кейин асбобсозлик пўлатларининг структураси донали перлитга эга бўлади. Донали перлитнинг структура фонини ҳосил қиладиган шарсимон цементит қўшимчаларининг дисперслиги, қоидага асосан бир хил эмас. Юқори дисперслик перлитли ўзгаришларда шаклландиган цементит донаси билан характерланса, нисбатан катта доначалар ортиқча карбидлар базасида шаклланади. Маълумки дастлабки юмшатишган структура аустенит ҳосил бўлиш жараёни, якуний структура ва тоблашдан кейинги якунловчи хоссаларнинг шаклланишига катта таъсир кўрсатади [7]. Карбидлар шакли, уларнинг дисперслиги ҳамда дастлабки ҳолатдаги дона ўлчами тоблаш учун технологик жиҳатдан амалга ошириладиган қиздириш ҳароратида донанинг шакли ва ўлчамига аниқлайдиган ҳолда таъсир кўрсатади. Аустенитли фазаларнинг пайдо бўлиши феррит ёки перлитли доналар чегарасида жойлашган карбидлар атрофида содир бўлади. Ўз навбатида аустенитнинг пайдо бўлиш тезлиги донанинг ўлчами камайиши ва карбидларнинг дисперслик даражаси ошиши билан ошади. Углероднинг диффузия тезлиги орқали лимитланган аустенит куртакларининг ўсиш тезлиги карбидларнинг дисперслик даражаси ошиши билан ошади [8]. Ўз навбатида аустенитнинг ҳосил бўлиш тезлиги карбидли фазаларнинг дисперслиги ошишида ҳам тезда ошади. Бунда перлит турли қиздиришда аустенит донасининг ўсиш мойиллигига таъсир кўрсатади. Маълумки, қиздиришда карбидларнинг эриш тезлиги бошқа тенг шароитларда юзадаги карбидлар катталиги билан аниқланади. Ўз навбатида шарсимон карбидлар секин-аста пластинкали ҳолатда эриб, қиздиришда аустенит донасининг ўсишини ушлаб туриш бўйича нисбатан самарали тўсиқ бўлиб боради. Тескари йўналишда эса карбидли фазаларнинг дисперслик даражаси ошишига таъсир этади. Карбидли заррачалар дисперслик даражасининг камайиши билан унинг эрувчанлиги камаяди ва аустенит доналарининг ўсиши қийинлашади. Шу билан бирга юқори дисперсли аниқ донали перлит қиздиришда пластинкали перлитга нисбатан карбидларнинг юқори барқарорлиги билан характерланади. Донали турдаги перлит дастлабки структурасида аустенизациялаш тезлигининг майда донали аустенитни шакллантириш билан ошиши бўйича альтернатив масала қулай ечилади.

ХУЛОСА

Аниқ бир технологик жараён учун асбобсозлик пўлати маркасини танлаш биринчи навбатда деформацияландиган материалнинг хоссалари (асосан, қаттиқлик) ва заготовканинг шакл ўзгаришларидаги ўлчамлари асосида амалга оширилади, улар биргаликда асбобларда кучланишлар юзага келишини аниқлайди. Совуқ ҳолда чўктириш учун мўлжалланган асбоблар учун легирланиш даражаси, легирлаш элементларининг комбинацияси, якуний

структура ва хоссаларининг даражасидан сезиларли фарқланадиган, катта сондаги турли маркали пўлатлар тавсия этилади. Уларнинг ичида нисбатан юқори механик хоссаларга мураккаб легиранган пўлатлар эга бўлади. Бироқ жуда кўп бу маркали пўлатларда жиддий камчиликлар мавжуд: технологиклигининг пастлиги, якуний хоссаси ва марка таркибидан эксплуатацион бардошлиликнинг сезиларли даражада аҳамиятга эга эканлиги, уларнинг қўлланилишида техник-иктисодий самарадорликни камайтирадиган юқори даражадаги легиранганлиги ва бошқалар.

АДАБИЁТЛАР РЎЙХАТИ

1. Alon Mishra, Joydeep Maity. Structure – property correlation of AlSi 1080 steel subjected to cyclic quenching treatment // Materials Science Engineering A. – 646. – 2015. – P. 169-181.
2. Гурьев А.М., Земляков С.А. Новая высокоэффективная технология термического упрочнения режущего и штампового инструмента. В сб. трудов научно-технической конференции 5-7 апреля 2000 г.- Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2000.- С.25-27.
3. Марочник сталей и сплавов. М. М. Колосков, Е.Т. Долбенко, Ю.В. Каширский и др. Под ред. А. С. Зубченко – М.: Машиностроение, 2001.- 672 С.
4. Фирсова Н. В. Разработка оптимального легирующего комплекса и режимов термического упрочнения штамповых сталей. Дисс. на соиск. уч. степ, к.т.н. / Н.В. Фирсова. -Оренбург, 2011. - 17 с.
5. Norkhudjayev, F. R., Mukhamedov, A. A., Khudayberdiev, O. R., Ergashev, D. M., & Norkhudjayeva, R. F. (2020). Development of Machine-Building Materials and Details of Machines from the Powders received from Waste of Raw Materials in the Industry of Uzbekistan. Test Engineering and Management, 83(5-6), 639-646.
6. Норхужаев, Ф. Р., Мухамедов, А. А., Эргашев, Д. М., Норхужаева, Р. Ф., & Тешабоев, А. М. (2021). Влияние режимов термоциклическая обработка на структурообразование инструментальных сталях. *Композиционные материалы*, 1, 75-77.
7. Nastich S.Yu., Morozov Yu.D., Marchenko V. N., Stcpashin A.M., Zyryanov V.V., KurashV.S. Development and production of high-strength steel for bodies and frames of heavy-duty dumptrucks at "Uralcompany Steel// International seminar «Modern developments in metallurgy and technologies of steel for automotive industry» - Moscow, 2004. — P. 161-168.
8. Худорожкова Ю. В. Особенности фазовых превращений и структурообразования в инструментальных сталях с 5 % хрома / Ю. В. Худорожкова, М. А., Гервасьев, Ю. Г. Плишкина // Актуальные проблемы физического металловедения стали и сплавов: сб. тр. II Междунар. шк. «Физическое материаловедение» ХУШУральской шк. металловедов - термистов, Тольятти, 2006. - Тольятти: ТГУ, 2006. - С.190.